



**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

| |
|----------------|
| MEMORIA |
|----------------|

ESTUDIO DE IMPLANTACIÓN DE UNA TURBO ROTONDA EN ZARAGOZA

Autor: Rodrigo Muñoz Barbero

Director: Óscar Ruiz Lozano

Fecha: Diciembre de 2015

INDICE DE CONTENIDO

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | RESUMEN | 0 |
| 2. | ABSTRACT | 1 |
| 3. | INTRODUCCIÓN | 2 |
| 4. | DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 3 |
| 5. | OBJETIVOS | 4 |
| 6. | ALCANCE | 5 |
| 7. | METODOLOGÍA | 6 |
| 8. | MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE | 7 |
| 8.1. | TURBO ROTONDAS | 7 |
| 8.2. | GLORIETAS CONVENCIONALES | 21 |
| 8.2.1. | DEFINICIÓN | 21 |
| 8.2.2. | CLASES | 21 |
| 8.2.3. | CRITERIOS GENERALES PARA IMPLANTACIÓN DE LAS GLORIETAS. | 24 |
| 8.2.4. | CONCEPTO Y JUSTIFICACIÓN DEL ENLACE. | 27 |
| 8.2.5. | CAPACIDAD | 28 |
| 8.2.6. | INFLUENCIA EN LA SEGURIDAD DE LA CIRCULACIÓN | 33 |
| 8.2.7. | TRAZADO | 35 |
| 8.3. | VENTAJAS E INCONVENIENTES | 39 |
| 9. | ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBO ROTONDA | 41 |
| 9.1. | CRITERIOS DE SELECCIÓN Y PARÁMETROS GEOMÉTRICOS | 41 |
| 9.2. | ELECCIÓN DEL PUNTO DE ESTUDIO | 46 |
| 9.3. | ESTADO ACTUAL | 51 |
| 9.4. | ESTUDIO DE TRÁFICO | 54 |
| 9.4.1. | TRABAJO DE CAMPO | 56 |
| | ACCESO ROTONDA DESDE Z-30 | 60 |
| | ACCESO ROTONDA DESDE SALIDA PUERTO VENECIA | 64 |
| 9.4.2. | DEMANDA FUTURA | 66 |
| 10. | ANÁLISIS DE SEGURIDAD VIAL | 67 |
| 11. | PREDIMENSIONAMIENTO | 70 |

INDICE de contenido

| | | |
|---------|---|-----|
| 11.1. | NORMATIVA Y RECOMENDACIONES | 70 |
| 11.2. | CARRILES | 75 |
| 11.2.1. | DIMENSIONES | 75 |
| 11.2.2. | SEPARADORES VIALES | 76 |
| 11.3. | SEÑALIZACIÓN | 78 |
| 11.3.1. | SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL | 78 |
| 11.3.2. | SEÑALIZACIÓN VERTICAL | 80 |
| 12. | CONCLUSIONES | 83 |
| 13. | BIBLIOGRAFÍA | 84 |
| ANEXO 1 | | 86 |
| ANEXO 2 | | 94 |
| ANEXO 3 | | 95 |
| 3.1 | GEOMETRÍA | 96 |
| 3.2 | DEFINICIÓN DE DATOS DE LA SIMULACIÓN | 97 |
| A) | TRÁFICO PUNTA | 99 |
| B) | TRÁFICO PUNTA* | 104 |
| C) | TRÁFICO A LA SALIDA DE PUERTO VENECIA (ÚLTIMAS HORAS) | 108 |
| ANEXO 4 | | 112 |
| 4.1 | ÁREA DE INFLUENCIA | 113 |
| 4.2 | TIPO DE PROGRAMA O PROYECTO | 113 |
| 4.3 | INVERSIÓN TOTAL DEL PROGRAMA O PROYECTO | 113 |
| 4.4 | PRINCIPALES COMPONENTES | 113 |
| 4.5 | SITUACIÓN ACTUAL (PROBLEMÁTICA) | 114 |
| 4.6 | ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN | 115 |
| 4.7 | RAZONES POR LAS QUE SE ELIGIÓ LA SOLUCIÓN MÁS VIABLE TÉCNICA Y ECONÓMICAMENTE | 115 |
| 4.8 | BENEFICIOS | 116 |
| 4.9 | MEDICIONES Y PRESUPUESTO | 116 |

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Metodología de trabajo

Figura 2: Circulación en turbo rotonda tipo

Figura 3: Comparación entre turbo rotonda tipo y glorieta de 2 carriles

Figura 4: Tipos de turbo rotondas

Figura 5: Turbo rotonda en Grado

Figura 6: Turbo rotondas en Holanda

Figura 7: Turbo rotonda Baden-Baden (Alemania)

Figura 8: Señalización horizontal en turbo rotondas de Polonia

Figura 9: Sección tipo de turbo rotonda en Polonia

Figura 10: Turbo rotondas sobre autovía

Figura 11: Diapositivas conferencia Teach America

Figura 12: Gráfico tipo de intersecciones según IMD

Figura 13: Variaciones según capacidad de la glorieta

Figura 14: Parámetros de entrada en glorieta

Figura 15: Capacidad de entrada y tiempos de espera

Figura 16: Parámetros en planta de glorieta

Figura 17: Ejemplos de buzamiento a la entrada de glorietas

Figura 18: Anchuras requeridas para diferentes diámetros

Figura 19: Relación entre la capacidad de la vía principal Vs. el volumen de la vía secundaria para una glorieta convencional de tres (3) carriles y una turbo rotonda de dos (2) carriles

Figura 20: Guía de radios recomendados

Figura 21: Emplazamiento de la zona de estudio

Figura 22: Imagen de acceso a la rotonda desde Z-30

Figura 23: Sección tipo Av. Puerto Venecia

Figura 24: Imagen de acceso a la rotonda desde Puerto Venecia

INDICE de ilustraciones

Figura 25: Enlace de salidas de Puerto Venecia

Figura 26: Imagen de acceso a rotonda desde Z-40

Figura 27: Colapso de la entrada a Puerto Venecia

Figura 28: Largas retenciones a la entrada y salida de Puerto Venecia

Figura 29: Obstrucción de un carril de la Z-40 a causa del tráfico en Puerto Venecia

Figura 30: Turbo rotonda tipo Espiral de 3 ramales

Figura 31: Accesos a Puerto Venecia

Figura 32: Distribución horaria de la demanda 2012-2014

Figura 33: Distribución de movimientos en la rotonda

Figura 34: Porcentaje de giros desde Z-30 año 2012

Figura 35: Porcentaje de giros desde Z-30 año 2014

Figura 36: Porcentaje de giros desde Z-40 año 2012

Figura 37: Porcentaje de giros desde Z-40 año 2014

Figura 38: Porcentaje de giros desde Puerto Venecia año 2012

Figura 39: Porcentaje de giros desde Puerto Venecia año 2014

Figura 40: Gráfico de demandas futuras en las 3 rotondas de acceso a Puerto Venecia

Figura 41: Comparación de puntos de conflicto entre rotonda de 2 carriles y turbo rotonda tipo

Figura 42: Comparación de puntos de conflicto entre rotonda de 3 carriles y turbo rotonda propuesta

Figura 43: Carril, línea de borde y la línea de anchuras y distancias entre líneas de borde en una turbo rotonda

Figura 44: Detalle de centros que muestran los arcos en una turbo rotonda.

Figura 45: Bloque Turbo de una turbo rotonda estándar ajustada a las entradas cuando el flujo de tráfico principal es Este-Oeste

Figura 46: Comprobación de posicionamiento del eje y el centro de traducción global

Figura 47: Ejemplo de canalización dentro de una turbo rotonda

Figura 48: Ejemplo de canalización de piedra y canalización rígida iluminada

Figura 49: Acotación de señalización horizontal

Figura 50: Acotación de señalización horizontal para turbo rotondas

Figura 51: Señales verticales ubicadas en el punto de estudio

Figura 52: Señal vertical de direcciones en salida de Puerto Venecia

Figura 53: Señal vertical de direcciones en acceso a rotonda de Puerto Venecia

Figura 54: Señales verticales de direcciones en acceso a rotonda de Puerto Venecia propuesta

Figura 55: Situación de turbo rotondas en el mundo.

Figura 56: Geometría modelizada de la glorieta actual

Figura 57: Geometría modelizada de la turbo rotonda propuesta

Figura 58: Reglas de prioridad glorieta actual

Figura 59: Reglas de prioridad de la turbo rotonda propuesta

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de capacidades

Tabla 2: Capacidades para cada tipo de turbo rotonda

Tabla 3: Radios recomendados

Tabla 4: Distribución horaria año 2012

Tabla 5: Distribución horaria año 2014

Tabla 6: Distribución de movimientos en horas punta (2012)

Tabla 7: Distribución de movimientos en horas punta (2014)

Tabla 8: Cálculos de geometría de la turbo rotonda

Tabla 9: Turbo rotondas por países

Tabla 10: Volumen de vehículos punta de la rotonda actual simulados

Tabla 11: Volumen de vehículos punta de la turbo rotonda simulados

Tabla 12: Retenciones en carriles punta de la rotonda actual

Tabla 13: Retenciones en carriles punta de la turbo rotonda

Tabla 14: Simulación de tiempos de viaje punta en la rotonda actual

Tabla 15: Simulación de tiempos de viaje punta en la turbo rotonda

Tabla 16: Mejora de tráfico punta por accesos.

Tabla 17: Volumen de vehículos punta* de la rotonda actual simulados

Tabla 18: Volumen de vehículos punta* de la turbo rotonda simulados

Tabla 19: Retenciones en carriles punta* de la rotonda actual

Tabla 20: Retenciones en carriles punta* de la turbo rotonda

Tabla 21: Simulación de tiempos de viaje punta* en la rotonda actual

Tabla 22: Simulación de tiempos de viaje punta* en la turbo rotonda

Tabla 23: Mejora de tráfico punta* por accesos.

Tabla 24: Volumen de vehículos simulados salida de la rotonda actual.

Tabla 25: Volumen de vehículos simulados salida de la turbo rotonda.

Tabla 26: Retenciones en carriles en salida de la rotonda actual

Tabla 27: Retenciones en carriles en salida de la turbo rotonda

Tabla 28: Simulación de tiempos de viaje de salida rotonda actual

Tabla 29: Simulación de tiempos de viaje de salida turbo rotonda

Tabla 30: Mejora de tráfico en horario de salida por accesos.

Tabla 31: Principales componentes

1. RESUMEN

En el presente estudio se ha determinado, mediante microsimulación, la viabilidad de convertir una rotonda no semaforizada en una turbo rotonda tipo estrella, adaptada a las características de la presente. La gran atracción del centro comercial Puerto Venecia, en la ciudad de Zaragoza, ha supuesto graves problemas de tráfico a determinadas horas y días. En este estudio, se han llevado a cabo varias microsimulaciones, tanto en la rotonda actual como en la turbo rotonda propuesta, analizando los factores de seguridad vial y de tráfico para diferentes escenarios, demostrando que, esta reconfiguración, nacida en los Países Bajos, puede mejorar varios aspectos presentes en estas conocidas intersecciones.

Palabras clave: rotonda, turbo rotonda, microsimulación, viabilidad, tráfico, seguridad vial.

2. ABSTRACT

In the present study has been determined, through microsimulation, the viability of converting a roundabout without traffic lights into a start type turbo roundabout, adapting on features of the current one. The high attraction of Puerto Venecia shopping mall, in Zaragoza, has supposed serious problems of traffic at certain times and days. In this study, several microsimulations have been performed in both roundabout and proposed turbo roundabout, analysing factors of traffic and road safety in different situations which demonstrate that this configuration, born in the Netherlands, can improve several traits in these known intersections.

Keywords: roundabout, turbo roundabout, microsimulation, viability, traffic, road safety.

3. INTRODUCCIÓN

La demanda de tráfico en las medianas y grandes ciudades se ha visto incrementada en los últimos años con las facilidades que nos sirven las construcciones de accesos a todo aquel lugar que las personas quieran viajar. Además, las ampliaciones de las ciudades traen consigo, un aumento de accesos y modos de transporte.

Por desgracia, casi el único modo de transporte que existe en las medianas y grandes ciudades, a partir de una distancia considerable, es el transporte terrestre, más concretamente, el vehículo.

Pese a los intentos por atraer a la ciudadanía en los transportes colectivos, autobuses, tranvías, etc, éstos conllevan ciertas limitaciones o desventajas para una gran parte de la población (flexibilidad, frecuencia, rapidez,...)

Visto que la vía de desviar el tráfico rodado hacia otras formas de transporte se ha convertido en una ardua tarea, se propone la facilidad para que ésta se lleve a cabo de una forma lo más cómodamente posible, y no resulte una lacra a la hora de conducir un vehículo particular por el entorno urbano.

El invento de la rotonda o glorieta ha facilitado mucho los tiempos de espera de las ciudades, en aquellos lugares donde confluyen con otras intersecciones.

Desde el Norte de Europa han ido más allá, con la "modificación" o creación de un nuevo tipo de intersección: "Turbo rotonda" o "Turboglorieta". Fueron creadas en Holanda, en 1996, por el Profesor Lambertus G. H. Fortuijn del Departamento de Transporte y Planeación de la Facultad de Ingeniería Civil y Geociencias de la Universidad de Tecnología de Delft. (Fortuijn, 2009a).

Las turbo rotondas, cuentan con las ventajas de agilidad y de seguridad vial, además de las ventajas proporcionadas por las rotondas convencionales. El aporte más significativo, que va a ser el objetivo principal de este estudio, es quizás, el del aumento de capacidad en la intersección, aumentando la agilidad de entrada en la rotonda y ocasionando una reducción en la demora de llegada o salida, al destino por el que se realiza este estudio.

4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La congestión de ciertos puntos de la ciudad de Zaragoza, debido al factor horario y la accesibilidad hacia lugares concretos donde se acumula la población, provoca la saturación de las calles. Cuando estas calles desembocan en una intersección, no sólo comienza a existir un problema de tráfico, sino de seguridad vial y medio ambiente.

Con este proyecto de investigación se propone:

Estudiar una zona concreta donde ocurre este fenómeno de embotellamiento y analizar la situación para que, con una turbo rotonda, en lugar de la rotonda convencional existente, se mejore la situación actual.

5.OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

El objetivo del estudio es definir unos criterios para establecer el emplazamiento de una turbo rotonda y comprobar la viabilidad para el tráfico que supone la transformación de una rotonda convencional en una turbo rotonda.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ❖ Determinar las mejoras en seguridad vial que, como resultado de la construcción futura, podrían llevarse a cabo.
- ❖ Modificación de la geometría de la isleta central de la rotonda, como consecuencia del aspecto singular de las turbo rotondas.
- ❖ Estudio de la geometría de los carriles de entrada a la glorieta, por si hubiese que hacer modificaciones en los ángulos de buzamiento para la entrada a la turbo rotonda.
- ❖ Modificaciones en las señales, tanto verticales como horizontales.
- ❖ Establecer una simulación de tráfico para visualizar el modelo real y obtener resultados.

6. ALCANCE

El estudio comienza por definir una serie de criterios para conocer el lugar donde se puede implantar la turbo rotonda. Una vez hallado el lugar idóneo, se determinan las ventajas e inconvenientes, haciendo especial énfasis en el tráfico y la seguridad vial.

Para que el estudio adquiriera una mayor veracidad, se mostrará la turbo rotonda planteada en un software de tráfico, con los estudios de tráfico actuales del lugar que sea objeto de estudio, para comprobar los resultados obtenidos y tener cifras que corroboren dichas mejorías.

Para terminar, se propondrá la situación de las nuevas señales verticales y horizontales que conlleva este nuevo diseño, y el predimensionamiento de los carriles que pudiera haber, en caso de la incompatibilidad en algunos de los factores técnicos de carreteras.

Lo que no se hará:

Los planos que se incluyan en el proyecto serán meramente indicativos y explicativos para dar mayor claridad a la situación de mejora que se quiere reflejar, en ningún caso serán planos con los que se puedan basar mediciones exactas a la hora de construir un proyecto de construcción.

Este proyecto de investigación no incluye una metodología de construcción de carreteras, ni cálculos de trazado ni de firmes.

Así mismo, no se incluirá Pliego de prescripciones técnicas particulares, pues el objetivo no es la puesta en marcha de la construcción de la turbo rotonda.

El presupuesto que se llevará a cabo será un presupuesto resumido, que servirá para justificar la inversión económica frente a la situación actual.

7. METODOLOGÍA

La metodología de investigación empleada en el proyecto será:

- ✓ Por el propósito: se trata de investigación aplicada.
- ✓ Por el nivel de investigación: se trata de investigación exploratoria y descriptiva.
- ✓ Por diseño de la investigación: se trata investigación documental y experimental.

Fuente: EL PROYECTO DE INVESTIGACION. Guía para su elaboración



Figura 1: Metodología de trabajo
Fuente: Elaboración propia

8. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Las turbo rotondas son, desde hace unos pocos años, un éxito allá donde se han implantado. A continuación veremos las causas que han hecho que hayan más de 100 turbo rotondas construidas desde el año 2000.

8.1. TURBO ROTONDAS

Una turbo rotonda, es un tipo de rotonda con unos direcciones “prefijadas”.

Es una intersección similar a la rotonda, con la diferencia de que los giros sólo están indicados hacia la derecha y estos son para salir de la misma. La obligación de estos giros vienen impuestos por marcas viales continuas o mediante pequeños resaltos en el terreno.

La turbo rotonda tiene como principal novedad la eliminación de la preferencia del carril exterior, dándole utilidad total a todos los carriles, ya que cada carril guía al conductor desde la entrada hasta la salida, además su radio de curva obliga a reducir la velocidad considerablemente, aunque menos que en una glorita tradicional.

Algunos principios básicos de diseño y de circulación en turbo rotondas se detallan a continuación:

Un solo carril que se aproxima a la turbo rotonda se divide en varios carriles de giro.

Los volúmenes entrantes deben ceder el paso a los volúmenes que giran, limitando a dos (2) carriles el número máximo de carriles a los que se le cederá el paso, por acceso.

Los conductores deben elegir su carril de giro (y, en última instancia, su destino) antes de entrar a la turbo rotonda.

Una vez dentro de la turbo rotonda, no hay posibilidad de invadir el carril adyacente, es decir, el conductor una vez elegido el carril de circulación no podrá cambiarse.

Los vehículos salen de la turbo rotonda sin verse implicados en situaciones de riesgo de sufrir colisión fronto-lateral por invadir el carril adyacente.

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

No son posibles los entrecruzamientos ni la circulación hacia la izquierda.

Las turbo rotondas utilizan espirales en lugar de círculos, para dirigir el tráfico desde la entrada hasta la salida de la glorieta.

Desde Holanda, pioneros en las turbo rotondas, publicaron un documento donde citan las características geométricas que debían seguir estas intersecciones.

Manual Práctico sobre Glorietas - Aplicación y diseño (2009) donde explican en un capítulo especial este tipo de rotondas. En él citan, que en Holanda ya no harán más rotondas convencionales, en favor de las turbo rotondas, y que las actuales rotondas se irán modificando progresivamente por turbo rotondas.

Aquí se muestra una imagen de la circulación en una turbo rotonda en la que se pretende girar a la derecha (verde) o girar a la izquierda (rojo).

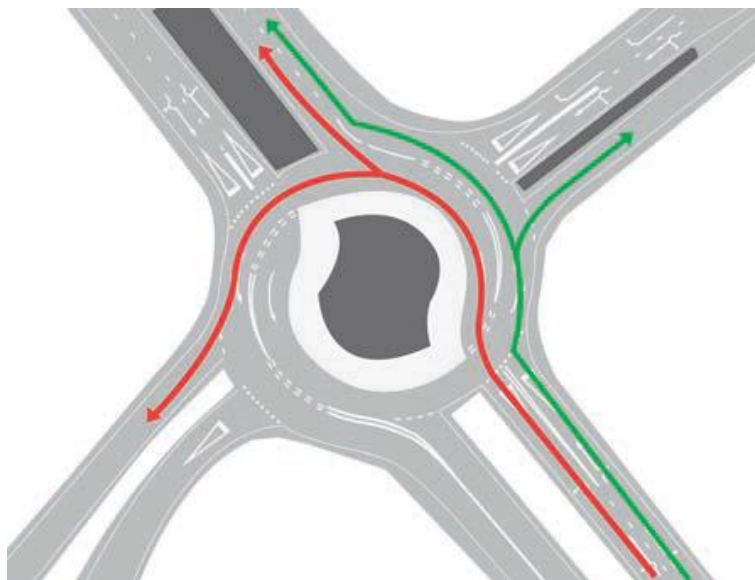


Figura 2: Circulación en turbo rotonda tipo
Fuente: Las "turborotondas" y su repercusión en la Seguridad Vial.

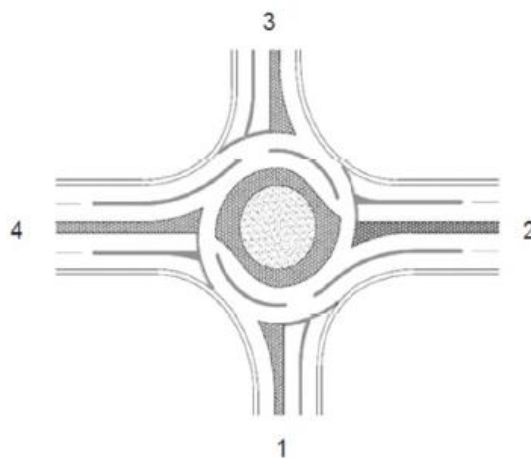


Figure 1. Basic turbo-roundabout

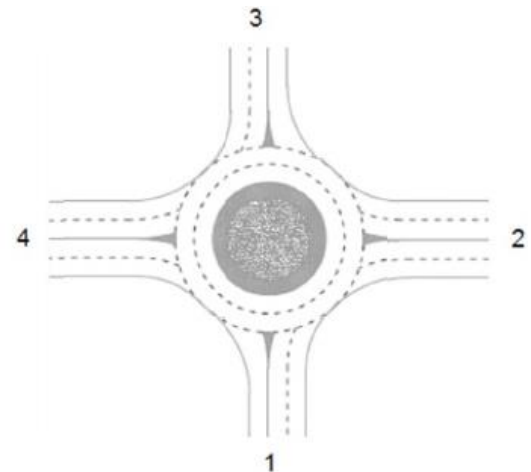


Figure 2. Double-lane roundabout

Figura 3: Comparación entre turbo rotunda tipo y glorieta de 2 carriles.

Fuente: Department of Civil, Environmental, Aerospace, Materials Engineering, University of Palermo, Palermo, Italy (2012). Comparing Performances of Turbo-roundabouts and Double-lane Roundabouts.

Estas turbo rotondas pertenecen a la tipología básica de turbo rotondas.

A continuación se muestran los diferentes tipos que se han catalogado en función del número de ramales y carriles.

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

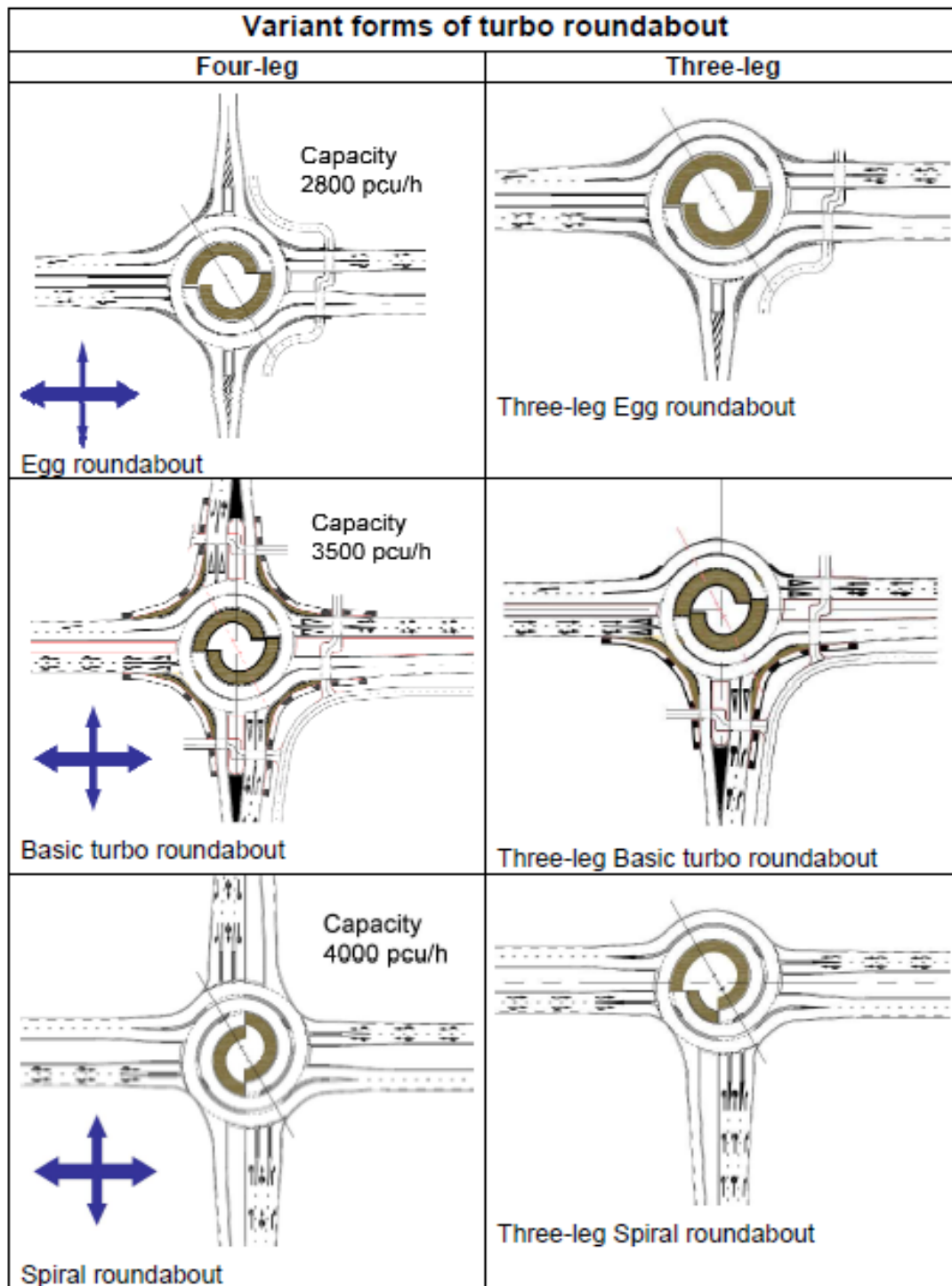
TIPOS DE TURBO ROTONDAS

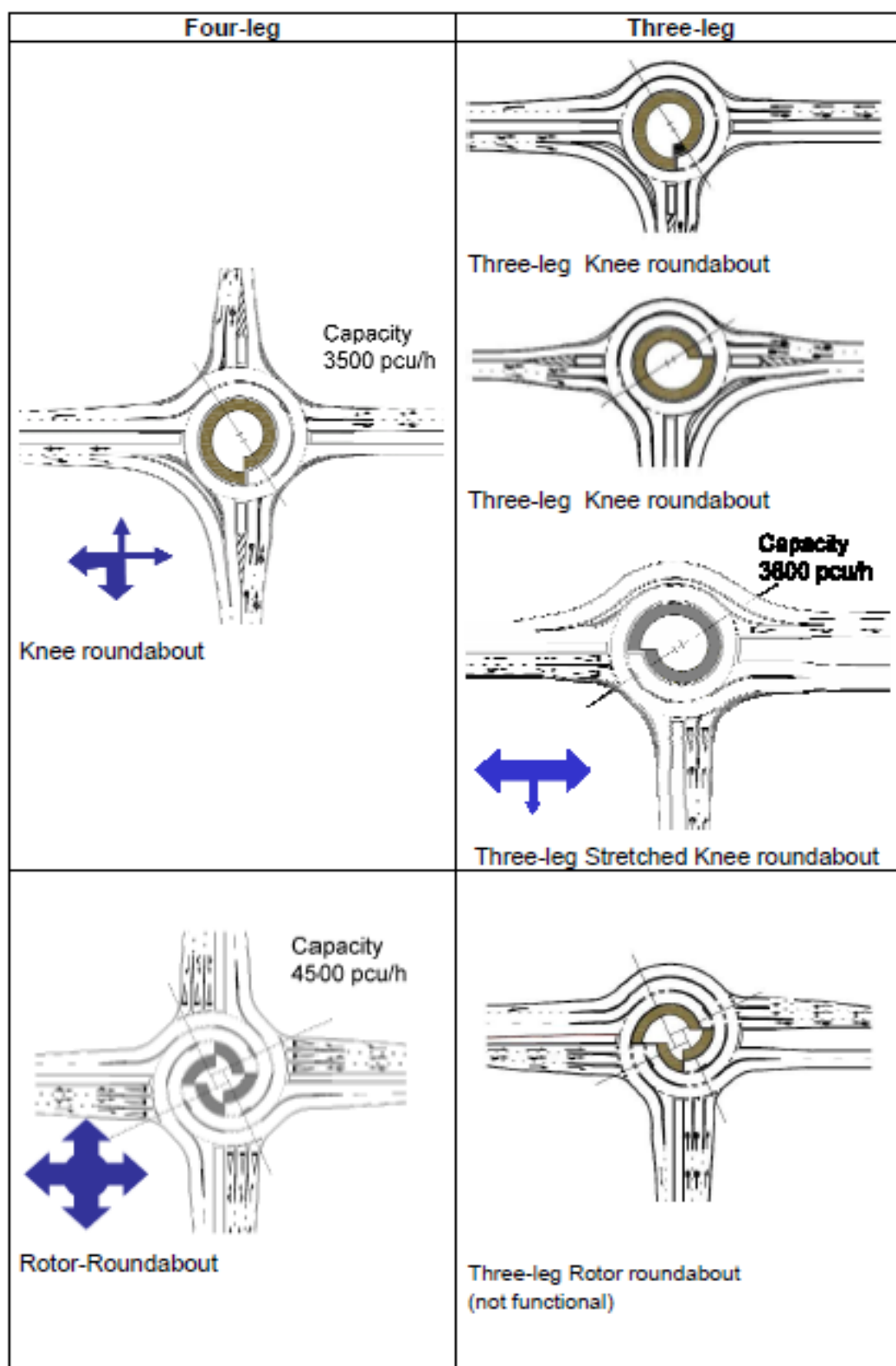
Tres o cuatro ramales:

- Turbo rotonda Ovoide
- Turbo rotonda Básica
- Turbo rotonda Espiral
- Turbo rotonda Rótula

Sólo tres ramales:

- Turbo rotonda Rótula Alargada
- Turbo rotonda Estrella
- Turbo rotonda Rotor





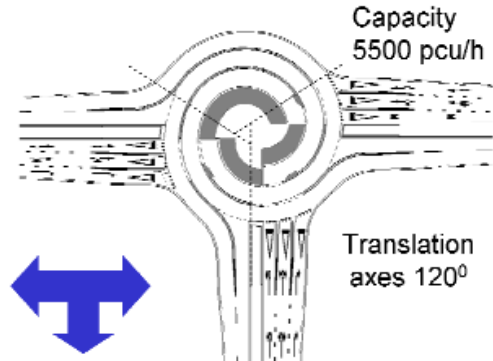
| Four-leg | Three-leg |
|--|---|
| <p>Four-leg Star roundabout does not exist, because it is impossible to create that type which fulfills the requirement not to give priority to more than two lanes.</p> |  <p>Capacity 5500 pcu/h</p> <p>Translation axes 120°</p> <p>Star Roundabout (three-leg)</p> |

Figura 4: Tipos de turbo rotondas

Fuente: Fortuijn, Lambertus. Turbo Roundabouts. Design principles and safety performance (2009a).

ANTECEDENTES

Tal y como se enunciaba con anterioridad, son varios los países que han implantado este tipo de rotondas con éxito. A continuación exponemos varios de estas investigaciones y construcciones:

ESPAÑA

No por ser el primer país en exponerse es ni el primero en implantar turbo rotondas, ni el más importante.

En España comenzó la implantación de las turbo rotondas en el año 2009, en el pueblo de Grado, a escasos 25 km de la capital asturiana.

En 2008, el Ayuntamiento de Grado presentó su Reordenación de tráfico para la Villa de Grado, con la implantación de 3 turbo rotondas. Todas ellas eran intersecciones no semaforizadas, las cuales presentaban medias de velocidad en el rango V_{85} de 64-75km/h, lejos de los 50km/h señalizados.

Los peatones se veían amenazados por esta situación, ya que la única seguridad que había era la de no circulación de vehículos en la zona para poder cruzar de una acera a otra. La congestión de tráfico a horas de entrada/salida de los trabajos y los

domingos, provocaban largas retenciones no muy usuales en pueblos de estas dimensiones.

Los problemas de tráfico y la poca seguridad que había en ciertas zonas, hicieron a las turbo rotondas una solución exitosa por parte de la consultoría Vectio, encargada de los estudios de las 3 turbo rotondas realizadas a posteriori.

En la Santander, se está estudiando desde 2015, la posibilidad de implantar 2 turbo rotondas en la capital cántabra. Dichas intersecciones estarían estudiándose en la glorieta Valdecilla y la S-20 por su paso por La Albericia.



Figura 5: Turbo rotonda en Grado
Fuente: Vectio Ingeniería de Tráfico.

Testimonios de conductores que frecuentaron la turbo rotonda:

- «Desde que las pintaron me aclaro mejor, pero al principio me costó entenderlas»
- «Han cumplido con su propósito y nosotros lo notamos mucho, sobre todo los domingos. Están muy bien señalizadas y los conductores poco a poco se están acostumbrando a ellas»
- «Para mí son una maravilla, estoy impresionado con lo bien que quedaron. Ya no tenemos que sufrir los atascos en los cruces. Creo que su funcionamiento es muy sencillo, ya que en todo momento te indican qué dirección tienen que tomar»
- «Veo muchos defectos en su diseño, son muy estrechas para los vehículos grandes»
- «La gente reduce la velocidad antes de cogerlas, de momento les tienen miedo»
- «Son una maravilla, agilizan mucho el tráfico, estoy encantado con ellas»

Fuente: www.lne.es

HOLANDA

País más importante y pionero en la implantación de turbo rotondas.

El Profesor Lambertus G. H. Fortuijn (2009), desarrolló la turbo rotonda en 1996, presentando su estudio "Turbo rotondas: Principios de diseño y desempeño de seguridad", donde explicaba por qué no se presentan cambios de carril, la necesidad de no ceder el paso en más de dos carriles y la baja velocidad debido a los separadores de carril planteados en estas intersecciones.

A raíz de los estudios de Fortuijn, comenzó en el año 2000 una nueva tendencia en Holanda de construcción de turbo rotondas, dado el enorme éxito que tenían. Las turbo rotondas son en Holanda una forma de ver el tráfico, tanto urbano como interurbano, y están incluidas en textos, guías, informes... por parte del gobierno de este país.

En el siguiente recorte observamos la cantidad de turbo rotondas realizadas hasta la fecha de Enero de 2015. Como se observa, en Holanda existe una gran cantidad de las mismas.

En el anexo encontrarán una imagen con todas las turbo rotondas en el mapa del mundo y un catálogo de todas ellas con su tipología y localización por país y ciudad.



Figura 6: Turbo rotondas en Holanda

Fuente: <http://www.arcgis.com/>

Roundabouts - Application and design. A practical manual (2009)

Se trata de un documento elaborado por la empresa Royal Haskoning, consultora de gestión de ingeniería y proyectos, que, en colaboración con otros organismos, han realizado un manual que el Ministerio holandés de Transporte, Obras Públicas y Gestión del Agua, ha acogido.

En este completo manual práctico se abordan los temas de intersecciones, diferenciándolas por tipos: rotonda de 1 carril, rotonda de varios carriles o turbo rotonda.

Dentro de cada apartado muestran los parámetros y recomendaciones a seguir para la construcción de un diseño eficaz, tanto en el anillo interior, calzada, señales verticales y horizontales, etc. Presta también especial interés por aquellos usuario "no convencionales" como son el transporte público, vehículos pesados, y para completar los modos de transporte, el ciclista y el peatón.

ALEMANIA

El Profesor Werner Brilon (2008) presentó en 2008 una ponencia titulada "Turbo-rotorietas – una experiencia desde Alemania", donde analizaba la geometría y resultados de la implantación de la famosa turbo rotonda situada en la ciudad de Baden-Baden, construida en el año 2006.

Esta construcción se hizo famosa por ser la primera implantada en el país germano y por su peculiar geometría, dado que es muy extensa y tiene una capacidad para 30.000 vh/día. Además, cabe destacar que no existe interacción directa con peatones o ciclistas, los cuales transitan por un puente elevado.

Actualmente Alemania cuenta con 11 turbo rotondas.



Figura 7: Turbo rotonda Baden-Baden (Alemania)
Fuente: Turbo-Roundabout - an Experience from Germany (2008)

POLONIA

En Polonia surge el problema de que cada vez tienen más turbo rotondas por sus carreteras. El problema en sí, es la transformación que han tenido estas turbo rotondas, a las cuales no se le han asignado una adecuada señalización horizontal o vertical (elementos fundamentales para el correcto funcionamiento del tráfico para dichas intersecciones). Esto acarrea un problema de seguridad vial, puesto que, al ser una in-

tersección poco conocida por los conductores, es fácil que existan colisiones en las salidas de las turbo rotondas.

Las señales horizontales para las turbo rotondas no se han definido en las ordenanzas pertinentes hasta la fecha. Aparte de separación y de borde líneas, otras señales de tráfico horizontal utilizan en las turbo rotondas polacas son flechas de dirección del grupo P-8.

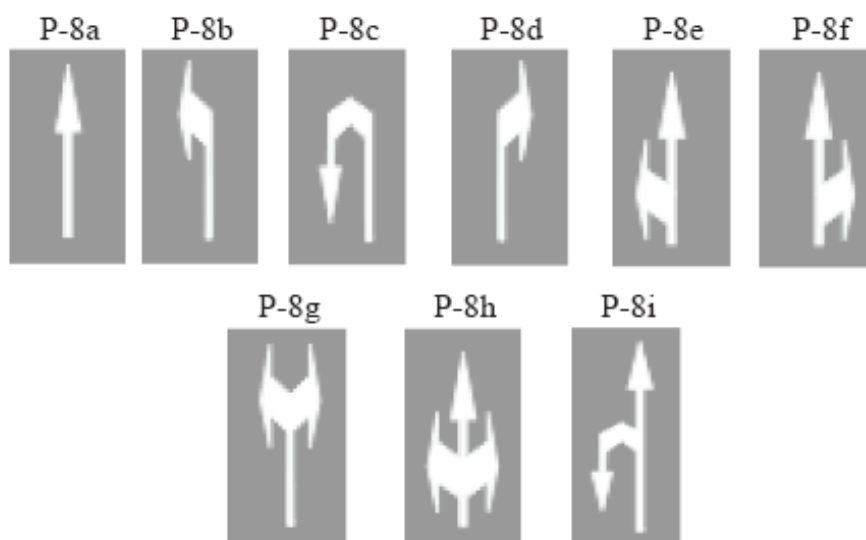


Figura 8: Señalización horizontal en turbo rotondas de Polonia
Fuente: Turbo roundabouts signing and marking - current situation in Poland (2013)

Actualmente Polonia cuenta con 22 turbo rotondas construidas, siendo el segundo país que más las ha implantado en sus calles por detrás de Holanda.



Figura 9: Sección tipo de turbo rotonda en Polonia
Fuente: Google Maps

ESTADOS UNIDOS

En Estados Unidos cuentan con 3 pares de turbo rotondas a las afueras de Phoenix (Arizona) que datan del año 2008. Todas ellas se sitúan en la periferia de la ciudad y están construidas sobre la autovía, en los extremos de lo que se conoce como un puente de carretera.



Figura 10: Turbo rotondas sobre autovía
Fuente: www.arcgis.com

Teach America es una organización especializada en la planificación del transporte que lleva varios años organizando eventos de investigación y desarrollo de temas como intersecciones, rotondas, vehículos automatizados, etc. Desde 2005 hasta 2014, en intervalos de 3 años, han estado realizando conferencias sobre las rotondas. En las últimas conferencias del año 2014 el tema de la turbo rotonda está muy comentado en varias de las ponencias de los diferentes investigadores.

En las ponencias analizan las distintas posibilidades que hay para la viabilidad de las turbo rotondas y exponen sus estudios teóricos para lo que se pretende realizar, así como referencias a estudios posteriores de turbo rotondas realizadas en otros países.

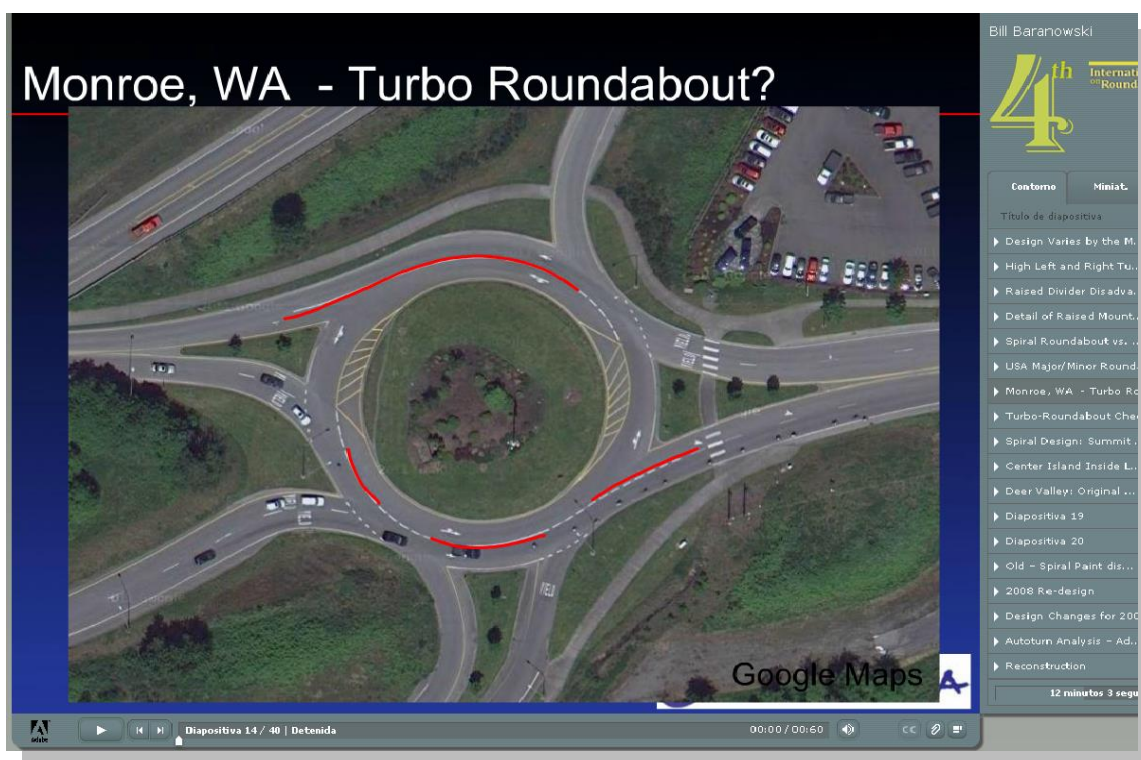




Figura 11: Diapositivas conferencia Teach America
Fuente: www.teachamerica.com

8.2. GLORIETAS CONVENCIONALES

Según MOPU "Recomendaciones sobre Glorietas (1989)" se expone la definición, tipos, criterios, parámetros y justificaciones muy útiles, a la hora de la elaboración de glorietas:

8.2.1. DEFINICIÓN

Se define a una glorieta como a un tipo especial de intersección, caracterizada porque los tramos que en ella confluyen se comunican a través de un anillo (calzada aproximadamente circular) en el que se establece una circulación rotatoria alrededor de una isleta central.

La circulación en la glorieta se realiza dejando la isleta central a la mano izquierda del conductor y, hecho excepcional, los vehículos que se encuentran dentro de la calzada circular tienen preferencia sobre los que se incorporan a ella, a pesar de llegar por su derecha.

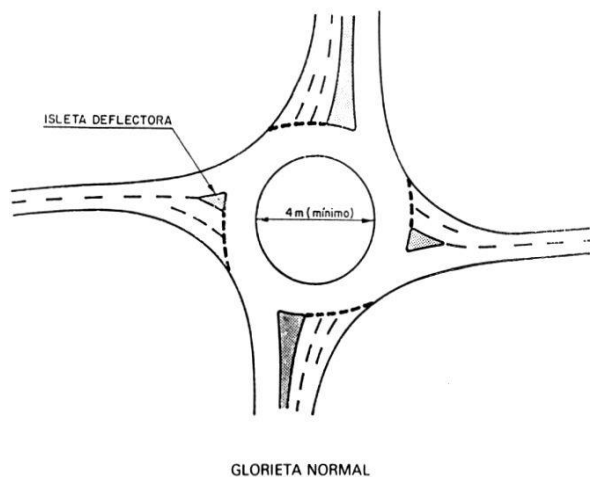
En una glorieta, las trayectorias de los vehículos no se cruzan, sino que convergen y divergen: por ello el número de puntos de conflicto es más reducido que en otros tipos de nudo, especialmente al aumentar el número de tramos que confluyen en la intersección.

8.2.2. CLASES

- Según su geometría

A) GLORIETA NORMAL

Una glorieta normal tiene una isleta central —dotada de bordillos— de 4 m o más de diámetro, y generalmente entradas "abocinadas" que permiten una entrada múltiple de vehículos.



El número recomendado de tramos es tres o cuatro. Las glorietas normales funcionan especialmente bien con tres tramos (mejor que las intersecciones reguladas por semáforos), siempre que la intensidad de la circulación esté bien equilibrada entre los accesos. Si el número de tramos es mayor de cuatro, su comprensión por el conductor se ve afectada y la glorieta ha de ser mayor, con lo que las velocidades resultan mayores: en estas circunstancias pueden resultar más convenientes las glorietas dobles.

B) MINIGLORIETA

Una miniglorieta tiene una isleta circular (a nivel o ligeramente abombada) de menos de 4 m de diámetro, y entradas abocinadas o sin abocinar.

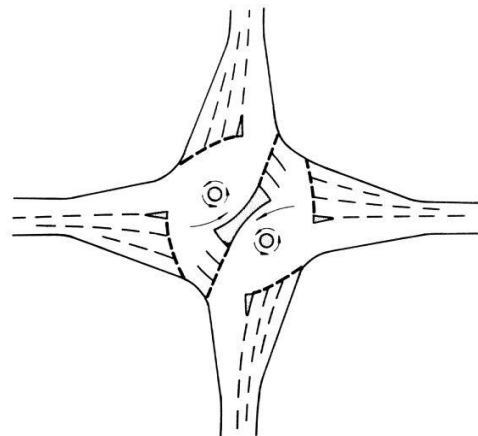
Las miniglorietas pueden ser muy efectivas para mejorar intersecciones urbanas existentes con problemas de capacidad y seguridad. Sólo deben usarse si todos los accesos tienen su velocidad limitada a 50 Km/h.

Donde no sea posible la inflexión de la trayectoria a la entrada por su trazado, puede lograrse, en cierto grado, mediante marcas viales y pequeñas isletas deflectoras. Estas isletas deben liberarse de todo mobiliario excepto las señales imprescindibles.

C) GLORIETA DOBLE

Una glorieta doble es una intersección compuesta por dos glorietas normales o miniglorietas, contiguas o conectadas por un tramo de unión o por una isleta alargada materializada por un bordillo. Las glorietas dobles pueden ser especialmente útiles:

- Para unir dos carreteras paralelas separadas por un obstáculo lineal tal como un río, un ferrocarril o una autopista.
- Para acondicionar intersecciones existentes separando giros a la izquierda opuestos con una ordenación de "giro a la indonesia".



a) CONTIGUAS

- En intersecciones asimétricas o de planta muy desviada, en las que una intersección convencional requeriría un amplio desvío de los accesos, y una glorieta normal una excesiva ocupación.
- En glorietas normales congestionadas, porque se incrementa su capacidad al reducir la intensidad más allá de las entradas críticas.

D) GLORIETA A DISTINTO NIVEL

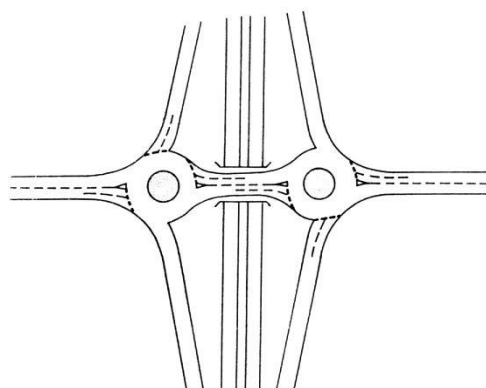
Es una glorieta en la que al menos un tramo conecta con una carretera que la cruza a otro nivel. Las más habituales son las de dos puentes y las de tipo "pesa".

1.- DOS PUENTES

Puede haber problemas debido a su gran tamaño, que permite velocidades elevadas: como consecuencia se reduce la capacidad y la seguridad, y se incrementan los problemas de percepción. Si se adopta este tipo de glorieta, se debe conseguir un diseño compacto.

2.- GLORIETA TIPO PESA

Este tipo de glorieta constituye una solución intermedia entre el enlace en diamante y la glorieta de dos puentes. Tiene la ventaja de su forma compacta y bajo coste.



GLORIETA A DISTINTO NIVEL TIPO "PESA"

E) INTERSECCIÓN ANULAR

Es una glorieta en la que la circulación habitual en sentido único alrededor de la isleta central ha sido reemplazada por una circulación en doble sentido, con miniglorietas de tres ramales o semáforos en cada acceso a la calzada anular. Se requiere que los conductores que estén en ésta cedan el paso a los que entran, contrariamente a lo habitual en una glorieta.

F) GLORIETA CON SEMÁFOROS

Cuando una glorieta no funciona bien, ya sea por exceso de intensidad de la circulación o por un reparto desequilibrado entre sus entradas, que impidan la autorregulación propia de una glorieta, puede aliviarse el problema con semáforos (con funcionamiento continuo o a tiempo parcial) en alguna de sus entradas, o en todas ellas.

- **Según su ubicación**

A) INTERURBANAS

Las glorietas que sirven como intersección de carreteras suelen ser de gran tamaño y al tener un tráfico más disperso no hay problemas en los tramos afluentes de carácter secundario. Sin embargo, tienen el problema de que imponen una cesión de paso de una vía que muchos conductores asumen como principal ante otra por lo que ninguna tiene una preeminencia sobresaliente.

B) SUBURBANAS O PERIURBANAS

En vías suburbanas o periurbanas, las glorietas tienen la ventaja de que obligan al conductor a percibir que se acerca a zona poblada. Aunque en muchas ocasiones, sean glorietas de cuatro tramos, los cuales forman dos vías bien diferenciadas, una principal y otra secundaria, en estos casos, es una ventaja, y no un inconveniente, la obligación de ceder el paso al llegar a la intersección por el cambio psicológico que inducen en el conductor.

C) URBANAS

En zonas urbanas, las habituales limitaciones de espacio y las grandes variaciones de intensidad de tráfico según la hora del día, hacen que las glorietas funcionen mal sobre todo en horas punta.

Esto puede obligar a la semaforización de la glorieta aunque sea a tiempo parcial.

Distinto es el caso de vías urbanas interiores con poca intensidad de tráfico donde la imposición de "ceda el paso" a todas las calles favorece la seguridad, y donde una miniglorieta no tendrá problemas al ser vías vedadas a los vehículos pesados.

8.2.3. CRITERIOS GENERALES PARA IMPLANTACIÓN DE LAS GLORIETAS.

- **Entorno y funcionamiento**

Hay dos situaciones diferentes en relación con el emplazamiento y funcionamiento de las glorietas:

- En zona urbana o suburbana, con altas intensidades —frecuentemente asociadas a importantes variaciones a lo largo del día— y limitaciones de espacio, las glorietas pueden destacar la transición entre carretera y vía urbana; pero no suelen ser compatibles con los sistemas urbanos de control de la circulación, que mueven los vehículos en grupos coordinando las fases de los semáforos para permitir su avance. Las glorietas interfieren este tipo de movimiento agrupado, hasta el punto de que dichos sistemas no pueden predecir con precisión las intensidades más allá de ellas. Además, imponen recorridos más largos a peatones y ciclistas.
- Fuera de poblado, con altas velocidades de acceso, menores variaciones de la intensidad y pocas limitaciones de espacio. La glorieta es preferible a la regulación por semáforos; pero la pérdida de prioridad que impone al tráfico de paso disminuye su nivel de servicio, y esto puede resultar poco conveniente en un itinerario principal.

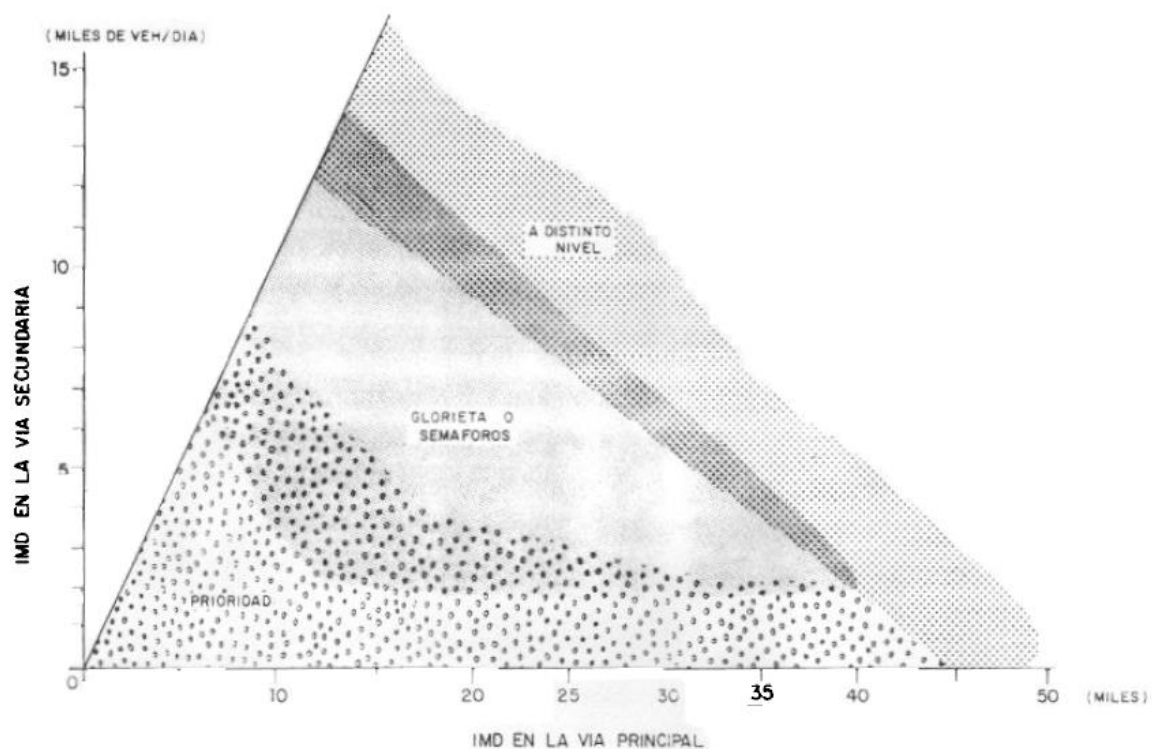
- **Intensidad de la circulación**

Las glorietas resultan especialmente ventajosas si las intensidades de la circulación en los tramos que a ella acceden son del mismo orden de magnitud, o si los movimientos de giro predominan sobre los de paso. Por el contrario, si alguno de los tráficos de paso es muy predominante no resulta justificada (desde este punto de vista) la demora que le impone la glorieta.

Su elevada capacidad permite disponer de una reserva para acomodar puntas de demanda, y permite evitar en muchos casos el recurso a la ordenación por semáforos.

Las glorietas se utilizan en emplazamientos con intensidades superiores a las que soportan intersecciones convencionales con prioridad para una dirección.

Hay que tener en cuenta que la vigente normativa del Ministerio de Fomento prohíbe la construcción de glorietas en carreteras cuya I.M.D. sea superior a 5.000 vehículos.



TIPO DE INTERSECCION APROPIADO SEGUN LA INTENSIDAD DE LA CIRCULACION EN UN NUDO DE 3 RAMALES

Figura 12: Gráfico tipo de intersecciones según IMD
Fuente: Recomendaciones sobre glorietas. MOPU (1989)

- Velocidad

El paso por una glorieta obliga al tráfico a reducir su velocidad. Ello permite:

- Marcar un cambio significativo en la funcionalidad de la carretera, como el paso de calzadas separadas a calzada única, o de una carretera con enlaces a otra con intersecciones.
- Marcar la transición de una zona urbana o suburbana a otra fuera de poblado.
- Efectuar cambios muy bruscos de alineación, que no podrían lograrse mediante curvas, ni siquiera de radios inferiores a los mínimos.

8.2.4. *CONCEPTO Y JUSTIFICACIÓN DEL ENLACE.*

- **Concepto**

Las grandes vías de altas densidades de tráfico rápido con preferencia absoluta de paso y los problemas de falta de capacidad que se producen en las intersecciones, hacen necesario, para su adecuada resolución, la utilización de niveles diferentes entre las distintas vías de forma que se evite el cruce de los diferentes sentidos de circulación en un mismo plano.

Al conjunto de ramales que se proyectan para facilitar el paso del tráfico entre infraestructuras viarias que se cruzan en niveles diferentes, es lo que técnicamente se conoce como enlace.

En España, se han construido y están en funcionamiento un gran número de enlaces integrados en los planes de autovías y autopistas. Los problemas de falta de capacidad que diariamente se producen, en muchos de ellos, han de producir en un futuro inmediato la necesidad de proyectar y construir un gran número de enlaces o la modificación de los ya existentes.

Del análisis de las normas aplicadas o que se están aplicando en otros países, con mayor experiencia en este tipo de infraestructuras se pueden inferir las tipologías, adaptaciones y/o mejoras aplicándolas a cada caso concreto, bien sea en medio urbano o interurbano.

- **Justificación del Enlace**

Como norma general, la justificación de la necesidad del enlace debe basarse en los siguientes criterios técnico - económicos:

a) Funcional: Análisis del sistema de vías objeto de estudio como parte integrante de un conjunto de autopistas y/o autovías. Actualmente incluso en las carreteras de altas intensidades, aún sin doble sentido de circulación, también se presenta este tipo de necesidad.

b) Estudio Coste - Beneficio: Estudio de la rentabilidad de las inversiones a realizar.

c) Capacidad: Determinación de la necesidad del enlace por rentabilidad indirecta en base a la mejora del potencial del desarrollo de la zona objeto de implantación.

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

d) Seguridad Vial: Incremento de la seguridad vial por eliminación de puntos de conflicto generadores de accidentes a causa de la elevada intensidad de tráfico y por tanto de puntos de conflicto.

De forma análoga a estos criterios se podrían establecer otros que en realidad ya no serían independientes sino una combinación de los conceptos anteriores.

8.2.5. CAPACIDAD

El estudio de funcionamiento de una carretera se realiza en base al concepto del nivel de servicio.

Los valores de capacidad usualmente utilizados son:

| CONDICIONES | TIPO DE VÍA | CAPACIDAD (Veh./h y carril.) |
|-------------------------------------|------------------|------------------------------------|
| Ideales de tráfico y trazado | 4 o más carriles | 2.300 (un solo sentido) |
| Ideales de tráfico y trazado | 2 o más carriles | 2.200 (sentido doble) |
| Tráfico interrumpido | Urbanas | 2.000 (hora de luz verde y carril) |
| Tráfico con interrupciones aisladas | Urbanas | 1.500 (hora de luz verde y carril) |

Tabla 1: Tabla de capacidades

La estimación de la capacidad en una glorieta es un proceso que tiene dos etapas. Primeramente se debe determinar la capacidad de cada entrada en función de la intensidad de la circulación anular (prioritaria) que la corta; luego se debe calcular la intensidad que aporta cada entrada. Como ésta depende de la intensidad prioritaria, que a su vez proviene de las entradas anteriores, el problema de predecir el equilibrio medio de todas las intensidades que entran a la glorieta se convierte en iterativo. Así coexisten dos elementos:

a. *Una relación entre la capacidad de cada entrada y la intensidad prioritaria que la corta.*

$$Q_e = F - f * Q_c$$

siendo:

- Q_e : capacidad de la entrada.
- F y f (veh. lig/h): parámetros en función del trazado en planta

$$F = 303 * x * k$$

$$f = 0.210 * t * k * (1 + 0.2 * x)$$

$$x = v + (e - v) / (1 + 2 * s)$$

$$k = 1 - [(\theta - 33) / 259] - 0.978 * [(1 / r) - 0.05]$$

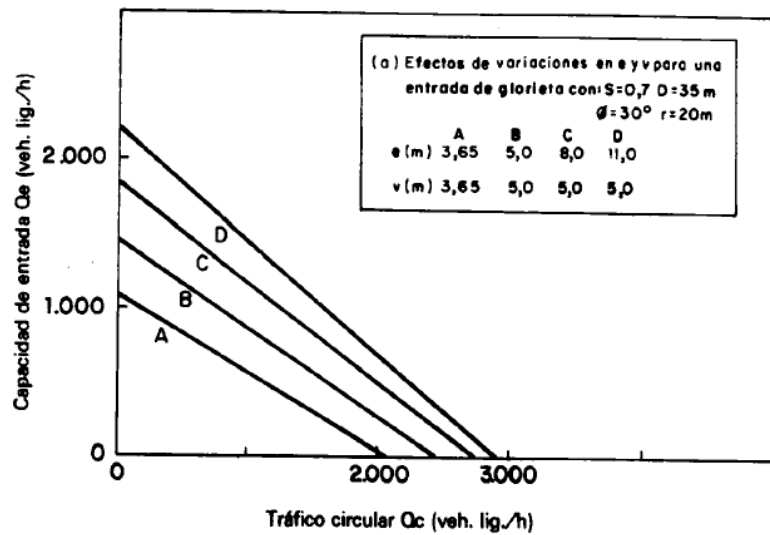
$$t = 1 + 0.5 * [1 + e^{(0.1 * D - 6)}]$$

$$S = 1.6 * [(e - v) / l]$$

- e (m): anchura de la entrada.
- v (m): semianchura de la calzada del acceso.
- l (m): longitud del abocinamiento de entrada.
- θ (g): ángulo entre las trayectorias de entrada y anular.
- r (m): mínimo radio de la trayectoria de entrada.
- D (m): diámetro de la isleta central.
- Q_c : intensidad prioritaria que corta la circulación de entrada.

Esta ecuación establece una jerarquía entre los diferentes parámetros que influyen en el proceso. La anchura de los accesos y de la misma entrada, así como la longitud del abocinamiento, son los más importantes. El diámetro de la isleta central tiene un efecto pequeño pero importante. El ángulo y el radio de la entrada contribuyen con correcciones menores.

EFECTOS DE LAS VARIACIONES DE LOS DIFERENTES PARAMETROS EN LA CAPACIDAD DE LAS GLORIETAS



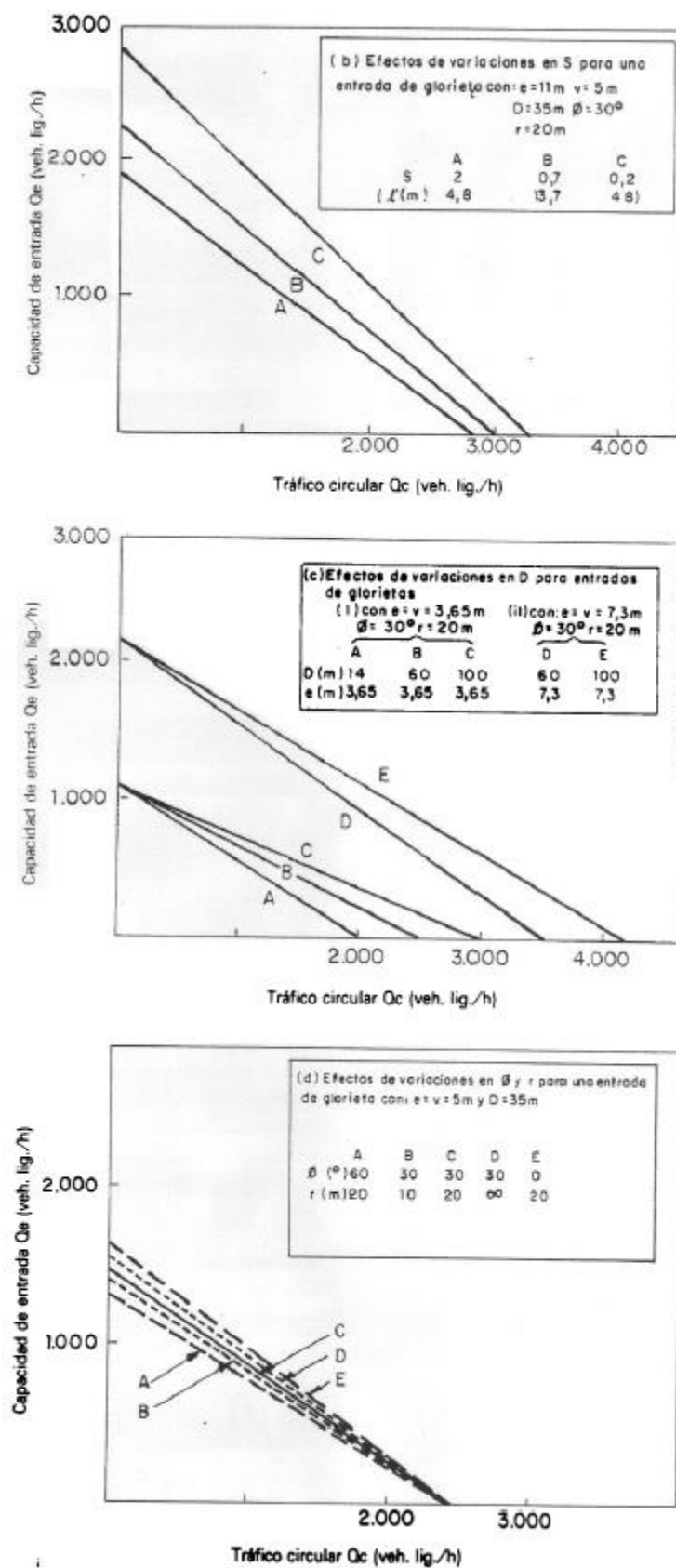


Figura 13: Variaciones según capacidad de la glorieta
 Fuente: Recomendaciones sobre glorietas. MOPU (1989)

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Otra ecuación desarrollada a partir de mediciones en glorietas fuera de poblado es la siguiente:

$$Q_e = (1330 - 0.7 * Q_g) * [1 + 0.1 * (e - 3.5)]$$

siendo:

$$Q_g = [Q_c + (2/3) * Q_s * (1 - (m/15))] * [1 - 0.085 * (c - 8)]$$

Las anchuras se expresan en m y las intensidades Q en vehículos ligeros/h, con un valor de 2 para el factor de equivalencia de los vehículos pesados.

b. Un proceso de equilibrio interactivo entre todas las intensidades que entran

Teniendo en cuenta la ecuación anterior no es difícil diseñar un algoritmo que en un proceso iterativo calcule el equilibrio entre las intensidades de las diferentes entradas. El proceso comienza asumiendo una Q_c nula en un tramo de la calzada anular anterior a una entrada. La intensidad en esta entrada será el menor de los dos valores, F o la intensidad de demanda. Esta intensidad de entrada, una vez restados los vehículos que salen en la próxima salida, se convierte en la Q_c para la próxima entrada, cuya intensidad de esta entrada es igual al menor de los dos valores, intensidad de demanda o capacidad (calculada por la misma fórmula).

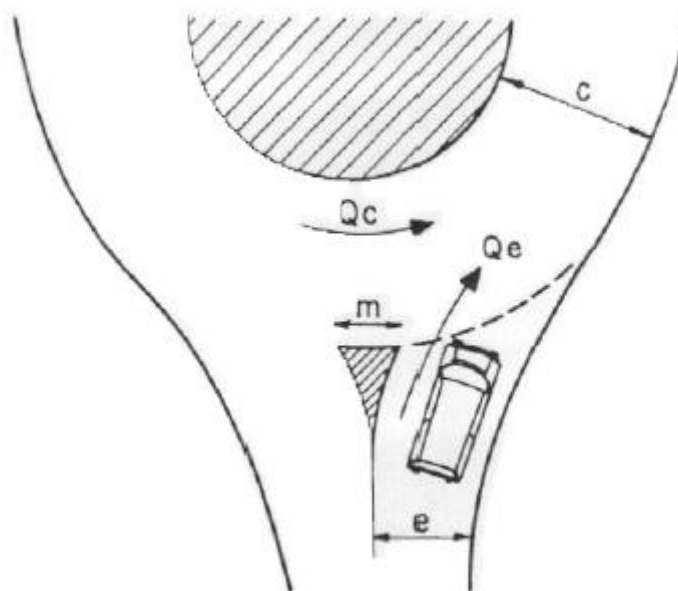


Figura 14: Parámetros de entrada en glorieta
Fuente: Recomendaciones sobre glorietas. MOPU (1989)

Así se puede calcular la Q_c para la próxima entrada, en progresión a lo largo de la glorieta. Cuando, después de un ciclo completo, se haya calculado la Q_c para la

primera entrada, se puede determinar una Q_e revisada, que puede ser el comienzo de una segunda iteración, y se repite todo el proceso. Después de varias iteraciones, las intensidades de entrada de cada ramal convergen hacia sus valores finales.

Este proceso es una forma cómoda de resolver el sistema de n ecuaciones simultáneas (con la forma indicada), en las que los valores Q_c son funciones de las proporciones de tráfico que salgan y de las intensidades de entrada desde los otros $n-1$ accesos. Pueden resultar interesantes para tanteos previos las isocronas del tiempo de demora, en función de las intensidades Q_c y Q_g (impedimento) para entradas de 3,5 m de anchura en glorietas interurbanas.

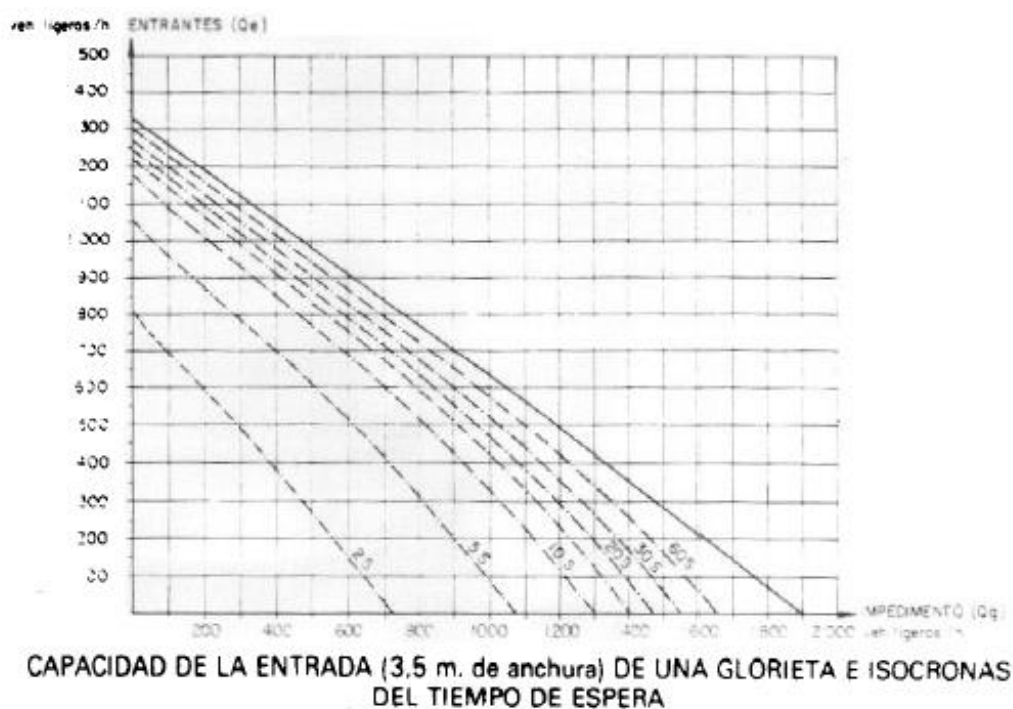


Figura 15: Capacidad de entrada y tiempos de espera
Fuente: Recomendaciones sobre glorietas. MOPU (1989)

8.2.6. INFLUENCIA EN LA SEGURIDAD DE LA CIRCULACIÓN

Los puntos donde dos vías se intersectan son por su propia naturaleza un punto de conflicto donde confluyen tráficos distintos con sentidos no necesariamente coincidentes.

Más allá de las normas propias de preferencia que a tal efecto se recogen en el Reglamento General de Circulación, o de la existencia de algún tipo de señalización o regulación semafórica, la propia infraestructura debe permitir que el cruce o incorporación se realice en las mejores condiciones posibles de seguridad.

En la seguridad de la circulación por glorieta intervienen diversos aspectos de su trazado, desgraciadamente no siempre compatibles: por lo que hay que llegar a un compromiso entre objetivos contrapuestos, consiguiendo que los vehículos cambien de tramo en condiciones de seguridad y con poca demora. El logro de este compromiso se ve dificultado por intensidades o velocidades elevadas y por limitaciones de espacio; estas últimas son a menudo el factor determinante al acondicionar una intersección existente, especialmente en zona urbana.

La mayoría de los accidentes en intersecciones cuya circulación está ordenada por prioridad de paso están relacionados con los conflictos de cruce debidos a giros a la izquierda, que no tienen lugar en las glorietas.

Sin embargo, a pesar del buen historial de las glorietas, se debe prestar especialmente gran atención a la seguridad en su diseño, y especialmente en el de sus entradas. El parámetro más importante es la curvatura mínima $1/R$ de la trayectoria de los vehículos que entran. Las isletas centrales demasiado grandes (de más de 50 m de diámetro) o no circulares presentan un nivel de seguridad menor. La presencia de peatones o de vehículos de dos ruedas puede provocar problemas especiales.

Según datos estadísticos de Gran Bretaña, el 4% de los accidentes con víctimas ocurrieron en glorietas. La proporción de estos accidentes que resultó mortal fue del 0,7%, frente al 1,5% de todas las demás intersecciones y el 3,1% fuera de ellas. El coste medio por accidente fue, en glorietas, un 30% menor que en las demás intersecciones y un 60% menor que fuera de ellas. Estos datos —aun con las reservas que pudieran hacerse respecto del elevado número de glorietas que hay en ese país, y de lo acostumbrados que a ellas están sus conductores— indica lo efectivas que resultan las glorietas en la reducción de la gravedad de los accidentes en intersecciones.

La experiencia francesa muestra asimismo una fuerte reducción del número de accidentes con víctimas en las glorietas (y una aún mayor de su gravedad) frente a las intersecciones convencionales.

Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que en las glorietas en que se producen accidentes suelen terminar por instalarse semáforos, con lo que la intersección pasa a ser considerada con semáforos y en las estadísticas desaparece como glorieta.

Los accidentes más frecuentes (alrededor de un 40% de los accidentes con víctimas y del 90% de los mortales) se deben a vehículos aislados que se salen de la calzada en una entrada a la glorieta, especialmente si la isleta central representa un obstáculo.

8.2.7. TRAZADO

PLANTA DE GLORIETA

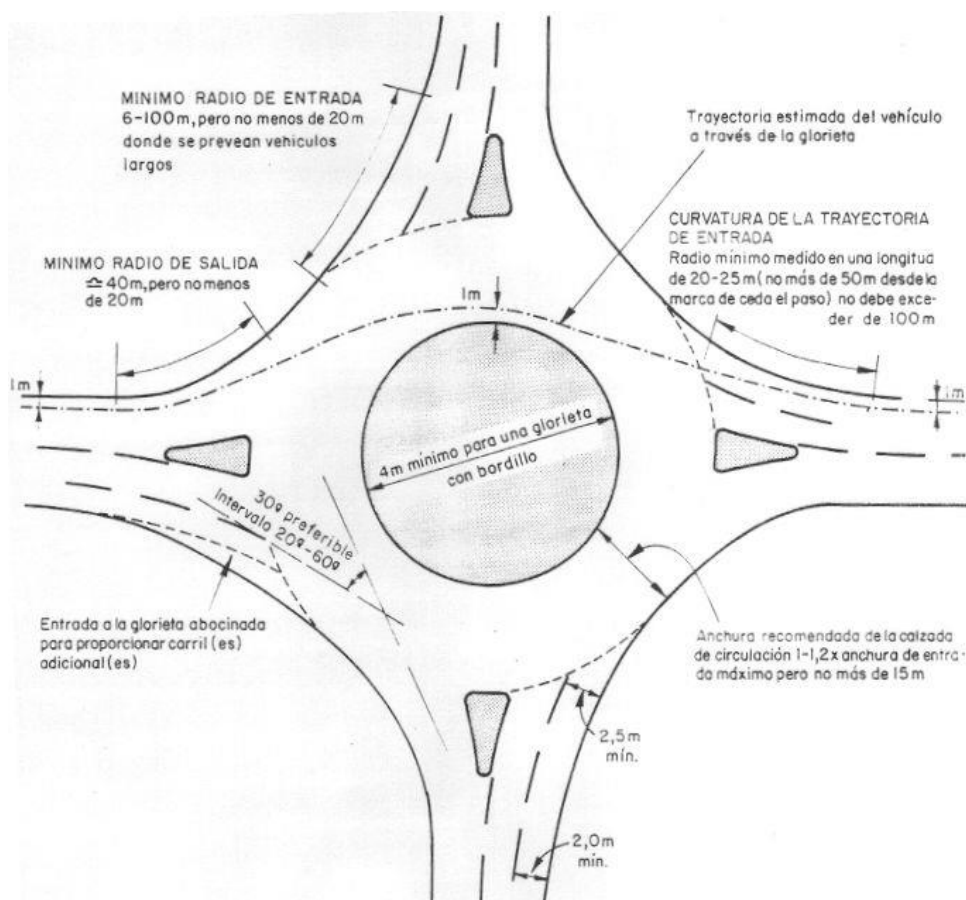


Figura 16: Parámetros en planta de glorieta
Fuente: Recomendaciones sobre glorietas. MOPU (1989)

NÚMERO DE CARRILES

Si la presencia de la glorieta es muy aparente y se logra reducir correctamente la velocidad, disponer carriles adicionales en la entrada a la glorieta (incluso si la intensidad de la circulación fuera baja) proporciona una mayor flexibilidad ante futuros aumentos de intensidad, permite el adelantamiento de un vehículo averiado, y facilita la maniobra de vehículos largos.

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Se recomienda añadir al menos un carril adicional, pero no más de dos (en accesos de dos carriles y doble sentido de circulación), ni más de cuatro (en accesos de más de un carril por sentido); y con una longitud mínima de unos 5 m en zona urbana, y de 25 m fuera de poblado. Los carriles adicionales deben diferenciarse (con una anchura mínima de 2 m) a partir de la mitad de la longitud total del abocinamiento; ésta no deberá rebasar los 100 m.

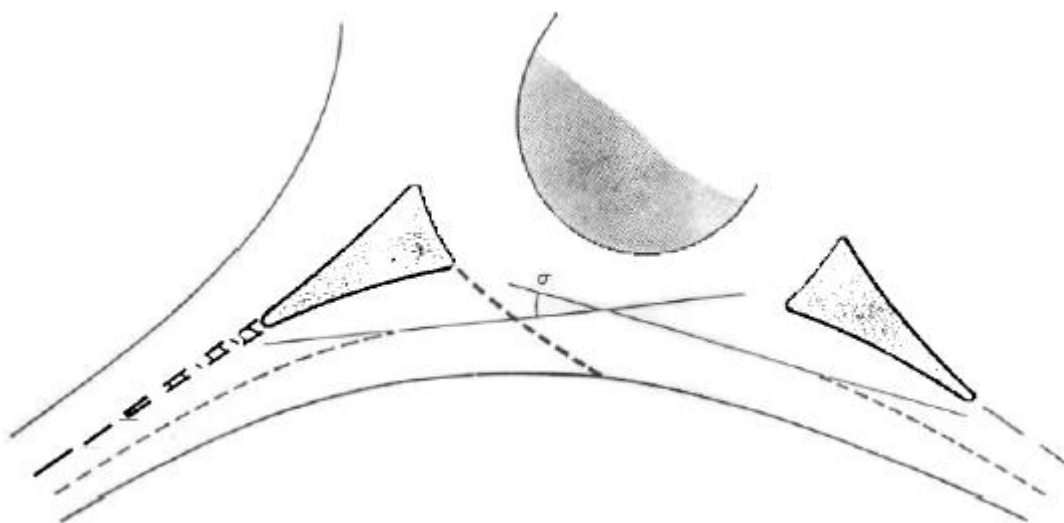
No se recomienda añadir carriles por la izquierda.

ANCHURA DE LOS CARRILES

La anchura mínima de los carriles de la entrada (en la marca de "ceda el paso") debe ser de 2.5 m. Es mejor usar carriles anchos porque son más adecuados para vehículos pesados. Por ejemplo, en una entrada de 10m de anchura, 3 carriles de 3,33 m son mejores que 4 de 2,50 m.

ÁNGULO DE ENTRADA

El ángulo de entrada debe estar comprendido entre 20 y 60 g, con un óptimo de unos 25 g. Los ángulos demasiado pequeños interfieren el funcionamiento propio de 18 glorieta, pues obligan a los conductores a mirar hacia atrás si viene algún vehículo y favorecen la entrada a velocidad elevada, incluso sin respetar la prioridad del tráfico que circula por la calzada anular.



EJEMPLO DE ÁNGULO DE ENTRADA DEMASIADO PEQUEÑO E INFLEXIÓN DE ENTRADA INSUFICIENTE

Figura 17: Ejemplos de buzamiento a la entrada de glorietas
Fuente: Recomendaciones sobre glorietas. MOPU (1989)

Los ángulos demasiado grandes también interfieren el funcionamiento normal de la glorieta, pues favorecen los conflictos en forma de cruce.

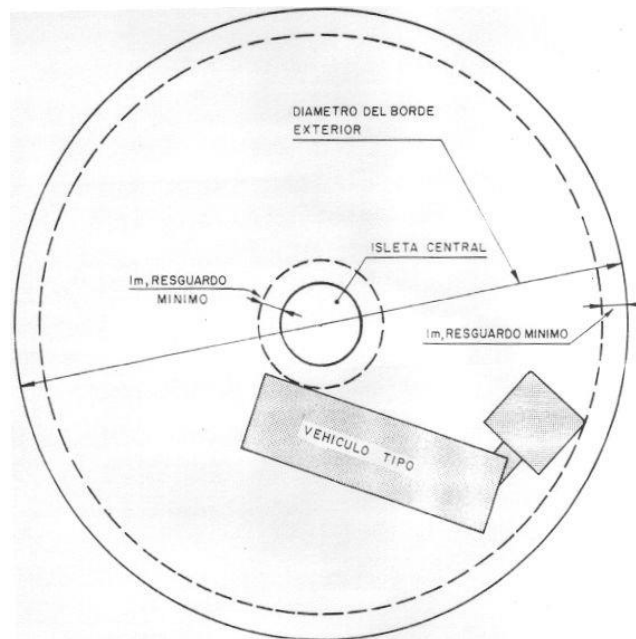
CURVATURA. TRAYECTORIAS:

La inflexión de la trayectoria de los vehículos a la entrada de una glorieta es uno de los factores más importantes para la seguridad de la circulación en ellas. Esta inflexión se logra por la presencia de la isleta central, y por la presencia de una isleta separadora en cada acceso.

Un giro inicial de unos 15 g basta para advertir la presencia de la entrada; una limitación del radio de curvatura de la trayectoria en la entrada a un máximo de 100m asegura una velocidad razonable de entrada.

PLATAFORMA ANULAR. ANCHURA:

La anchura de la calzada anular debe ser constante y comprendida entre el 100 y el 120% de la anchura máxima de entrada, sin exceder de 15 m; salvo que el diámetro del borde exterior sea inferior a 36 m, en cuyo caso se estará a lo indicado en la figura.



| DIAMETRO DE LA ISLETA CENTRAL (m) | BORDE EXTERIOR (m) |
|--------------------------------------|-----------------------|
| 4,0 | 28,0 |
| 6,0 | 28,8 |
| 8,0 | 29,8 |
| 10,0 | 30,8 |
| 12,0 | 32,0 |
| 14,0 | 33,2 |
| 16,0 | 34,6 |
| 18,0 | 36,0 |

**ANCHURAS REQUERIDAS PARA EL GIRO DEL
VEHICULO TIPO EN GLORIETAS NORMALES PEQUEÑAS**

Figura 18: Anchuras requeridas para diferentes diámetros
Fuente: Recomendaciones sobre glorietas. MOPU (1989)

8.3. VENTAJAS E INCONVENIENTES

En este apartado se exponen, de manera general, las ventajas e inconvenientes de las turbo rotondas frente a las glorietas convencionales. Hay que señalar que, dependiendo de cada caso en particular, las turbo rotondas pueden tener mayores o menores ventajas e inconvenientes.

Ventajas:

1. Reducción de los puntos de conflicto, tanto dentro como en las entradas y salidas, con respecto a una tradicional. Pasamos de tener 16 a 10 puntos de conflicto. Es una mejora de la seguridad.
2. El estudio más amplio y reciente mostró reducciones globales del 35 % en el total de accidentes y el 76 % en accidentes con lesiones. Graves, incapacitantes lesiones y muertes son raras, con un estudio de informes de reducción de 89 % en este tipo de accidentes y otra reducción de informes 100 % en las muertes. El punto de conflicto, golpe lateral del coche que va por carril interior y pretende salir con el que circula por el carril exterior y con prioridad, se elimina.
3. La capacidad de una turbo rotonda es desde un 25% hasta un 35% mayor que la capacidad de una glorieta convencional de dos carriles.
4. Reparto total de los carriles. Los carriles se ocupan en sus totalidades, tanto exteriores como interiores. Estos últimos poco utilizados en las rotondas de 3 o más carriles.
5. La velocidad con la que se entra es menor, puesto que tiene un radio interior algo mayor que la glorieta convencional.
6. Factores ambientales. Las rotondas a menudo proporcionan beneficios ambientales al reducir la demora del vehículo y el número y la duración de las paradas en comparación con las alternativas de parada controlada señalizadas o la totalidad de sentido único. Incluso cuando hay volúmenes pesados, los vehículos continúan avanzando lentamente en colas en movimiento en lugar de llegar a una parada completa. Esto puede reducir el ruido, la calidad del aire y el consumo de combustible significativamente al reducir el número de ciclos de aceleración / deceleración y el tiempo de marcha en vacío.

Inconvenientes:

No es un diseño universal. Habrá que estudiar cada caso en particular y las intensidades de tráfico para priorizar. Incluso ir a soluciones intermedias.

1. Necesidad de mejor señalización específica, pues el conductor ha de tomar la decisión antes de entrar en la glorieta.
2. Dificultad para gestionar los cambios de sentido, que puede llegar a ser imposibles.
3. Diseños complejos en casos de tráfico uniformemente repartido.
4. Hay también dificultad para disponer pasos de peatones, sobre todo, en los carriles de acceso en los que hay que tomar una decisión.

9. ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBO ROTONDA

Una vez establecidos los estudios hasta la fecha de otros proyectos realizados, comenzamos la valoración específica de la implantación de una turbo rotonda en la ciudad de Zaragoza.

Para comenzar expondremos unos criterios por los que seleccionaremos el emplazamiento óptimo de nuestro estudio.

9.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN Y PARÁMETROS GEOMÉTRICOS

Los 2 posibles emplazamientos pueden ser:

- Intersecciones de calles con señales de stop y ceda el paso
- Glorietas existentes.

Ambas posibilidades deben disponer de unas características que veremos a continuación.

Los criterios para la selección son:

1. Intensidad media diaria de vehículos que acceden a las glorietas. Ésta no podrá soportar una cantidad mayor de vehículos que los establecidos por el profesor Fortuijn en sus estudios para los diferentes tipo de turbo rotondas.

| TIPO | Nº RAMALES | CAPACIDAD (vh/h) |
|-------------|------------|------------------|
| Tipo Ovoide | 3 | - |
| | 4 | 2800 |
| Tipo Rótula | 3 | 3300 |
| | 4 | 3500 |
| Tipo Básica | 3 | - |
| | 4 | 3500 |

ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBO ROTONDA

| | | |
|----------------------|---|--|
| Tipo Rótula Alargada | 3 | 3800 |
| | 4 | - |
| Tipo Espiral | 3 | - |
| | 4 | 4000 |
| Tipo Rotor | 3 | No funcional |
| | 4 | 4500 |
| Tipo Estrella | 3 | 5500 |
| | 4 | Solución no posible por permitir paso a más de 2 carriles. |

Tabla 2: Capacidades para cada tipo de turbo rotonda

Fuente: Adaptado de Fortuijn, Lambertus. Turbo Roundabouts. Design principles and safety performance (2009a).

No se han encontrado en el municipio zaragozano ninguna intersección de varias calles que desemboquen en un mismo punto con sólo señales de stop y ceda el paso, por lo tanto la elección será entre glorietas existentes.

En el siguiente gráfico se puede observar un estudio realizado sobre las capacidades para una rotonda convencional de 3 carriles y una turbo rotonda con 2 carriles para vías principales y secundarias. Este estudio dice que se puede obtener alrededor de un 15% más de capacidad con un carril menos si se opta por la distribución de carriles que pretenden las turbo rotondas.

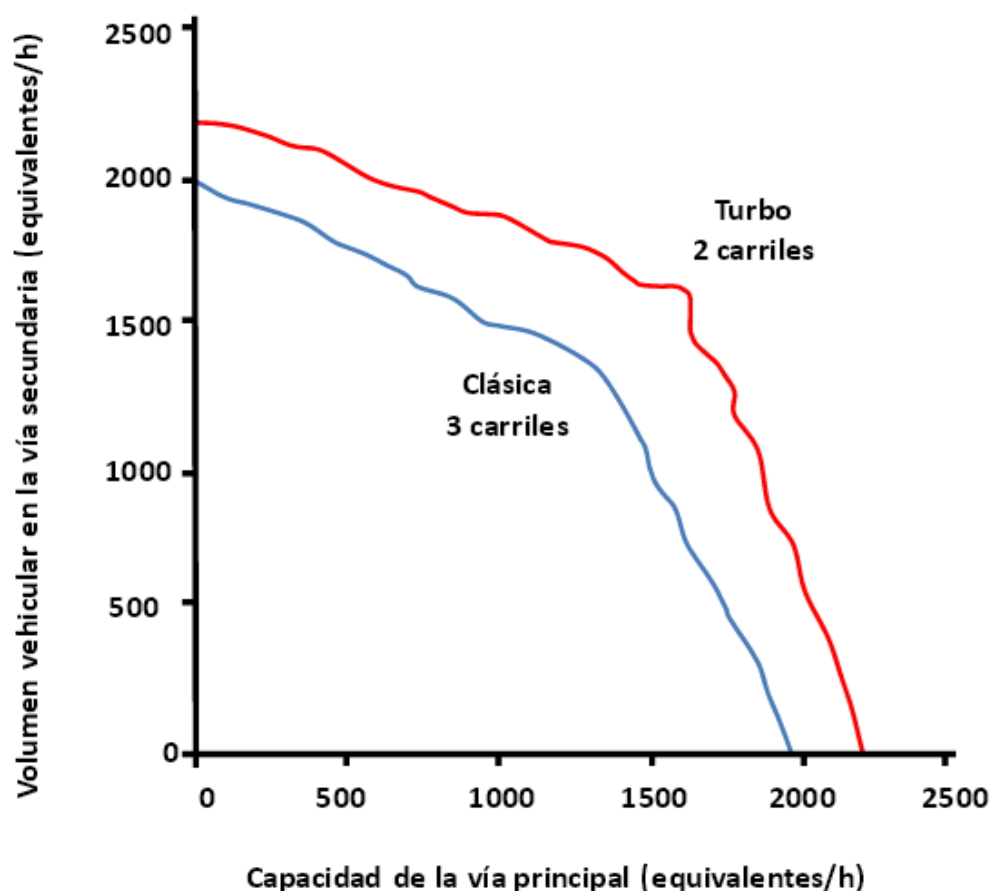


Figura 19: Relación entre la capacidad de la vía principal Vs. el volumen de la vía secundaria para una glorieta convencional de tres (3) carriles y una turbo rotonda de dos (2) carriles.

Fuente: YPERMAN, Isaak & IMMERS, Ben. Capacity of a turbo-roundabout determined by micro-simulation. Katholieke Universiteit Leuven (Bélgica). Department of Civil Engineering - Transportation Planning and Highway Engineering (2003).

- Este criterio corresponde a las dimensiones y radios recomendados por Fortuijn 12, para turbo rotondas básicas. En estas dimensiones se tiene en cuenta la circulación de vehículos pesados (22 m de longitud) lo que permite considerar dimensiones menores en lugares donde la circulación de pesados sea restringida.

En la siguiente tabla tenemos las medidas y radios, mencionados anteriormente, para turbo rotondas básicas. La tercera columna presenta las dimensiones para turbo rotonda cuyo diámetro inscrito mayor sea de 49.95 m, mientras que en la quinta columna se muestran las dimensiones para una con diámetro inscrito mayor de 55.35 m. Los valores de la cuarta columna permanecen constantes en ambas situaciones.

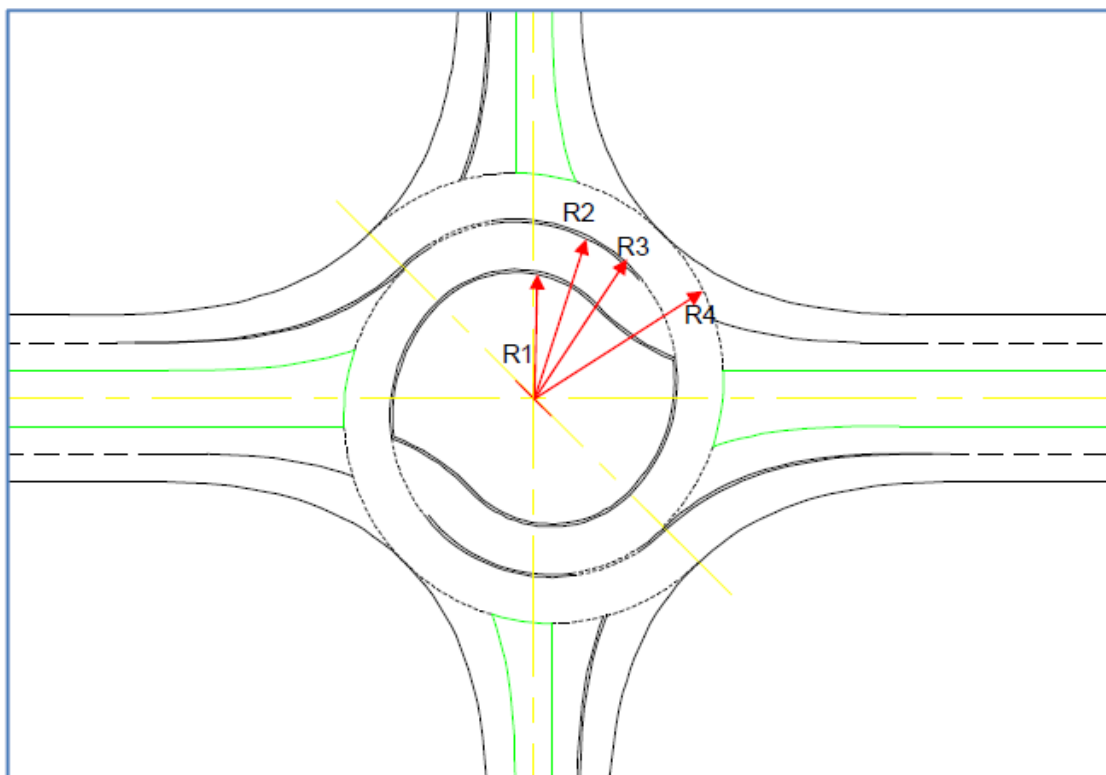


Figura 20: Guía de radios recomendados

Fuente: Metodología para la evaluación técnica y operativa de turboglorietas como alternativa de intersección vial en ámbito urbano – Lenin Alexander Bulla Cruz.

| Parámetro | Parámetro Radios y medidas (m) | | | |
|---|--------------------------------|-------|-------------|-------|
| Radio interno de la isla central | R1 | 12.00 | | 15.00 |
| Radio externo, carril interno | R2 | 17.15 | | 20.00 |
| Radio interno, carril externo | R3 | 17.45 | | 20.30 |
| Radio externo, carril externo | R4 | 22.45 | | 25.20 |
| Ancho inicial, carril interno | | 5.30 | | 5.15 |
| Ancho final, carril interno | | 5.00 | | 4.90 |
| Ancho, carril externo | | 5.00 | | 4.90 |
| Diferencia entre el ancho de carril y el ancho entre líneas de demarcación | | | 0.65 | |
| Ancho del separador de carriles | | | 0.30 | |
| Distancia entre los puntos centrales para el traslado del carril interno | | 5.35 | | 5.15 |
| Distancia entre los puntos centrales para el traslado del carril externo | | 5.05 | | 4.95 |
| Diámetro inscrito mayor | | 49.95 | | 55.35 |
| Diámetro inscrito menor | | 45.18 | | 50.64 |
| Radio de entrada y radio de salida | | | 10.00 | |
| Radio de entrada del separador de carril | | | 12.00 | |
| Radio de giro del separador de carril | | | 15.00 | |
| Sobreancho remontable de la isla central (vehículos de más de 22m de largo) | | | 5.00 | |
| Sobreancho remontable en las esquinas de la intersección (giros derechos) | | | 1.50 – 3.00 | |
| Ancho remontable de la plataforma (vehículos de más de 22m de largo) | | | 5.00 | |

Nota: Velocidad de paso de los vehículos livianos en la intersección (km/h)= 37-39.

Tabla 3: Radios recomendados

Fuente: Fortuijn, Lambertus. Turbo Roundabouts. Design principles and safety performance (2009a).

9.2. ELECCIÓN DEL PUNTO DE ESTUDIO

ROTONDA DE ACCESO A PUERTO VENECIA

La elección de esta rotonda para realizar el estudio se basa en una serie de factores que se enuncian a continuación:

- ♦ Se trata de una rotonda no semaforizada, factor imprescindible para la funcionalidad de cualquier rotonda que se pretenda regular como alternativa a los semáforos.
- ♦ Tráfico punta muy elevado, tanto que ocasiona largas colas en el acceso dentro de la ciudad y en la autovía colindante (Z-40), que también dota de acceso a la rotonda. La policía local se ve obligada a regular el tráfico cada fin de semana debido a las retenciones que se forman.
- ♦ Propósito de ocio: el centro comercial Puerto Venecia, tiene una gran repercusión, pues desde su inauguración en Octubre de 2012, se ha convertido en un gran centro de atracción para la capital zaragozana, atrayendo en su primer año 16 millones de visitas.
- ♦ Existen pasos de cebra y ciclistas en las inmediaciones, aunque no justamente en el borde de la rotonda actual, por lo que no dificulta el tránsito normal de los vehículos que acceden a la rotonda. Además, el número de personas y ciclistas que acceden al centro comercial es muy bajo en comparación con las que viajan en vehículos particulares o públicos.
- ♦ Las dimensiones de las calles de entrada y salida, así como las de la propia rotonda, son lo suficientemente anchas como para no tener que realizar obras que eleven el presupuesto para realizar la transformación de ésta en una turbo rotonda. Más adelante se indicarán las dimensiones existentes y la justificación económica resultante.

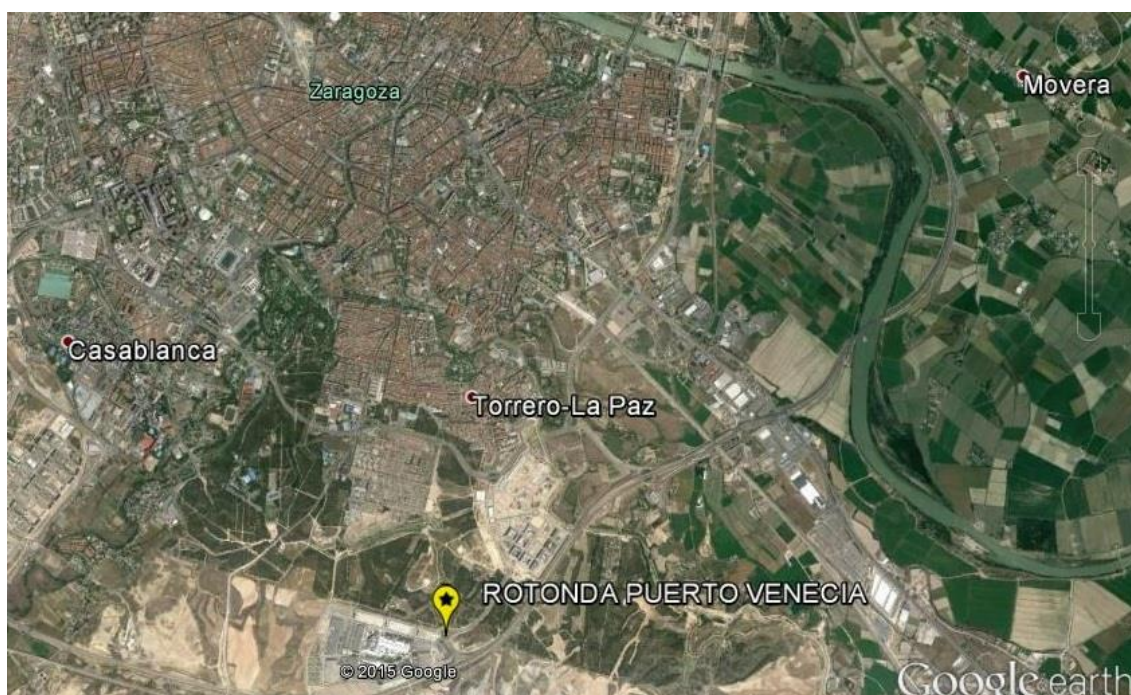


Figura 21: Emplazamiento de la zona de estudio
Fuente: Google Earth

A continuación se exponen unas imágenes con las entradas a la rotonda de acceso a Puerto Venecia:

1. Z-30 a rotonda



Figura 22: Imagen de acceso a la rotonda desde Z-30
Fuente: Google Maps

ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBO ROTONDA

Desde la ciudad, más concretamente desde la Z-30, se puede acceder a través de la Av. Puerto Venecia. Se trata de un acceso de 2 carriles de 3,5 metros cada uno, aunque en las inmediaciones de la rotonda se crea un carril adicional que bordea a ésta para evitar entrar y conducirte hasta el centro comercial con un carril de incorporación posteriormente a los 2 carriles de salida que acceden a Puerto Venecia.

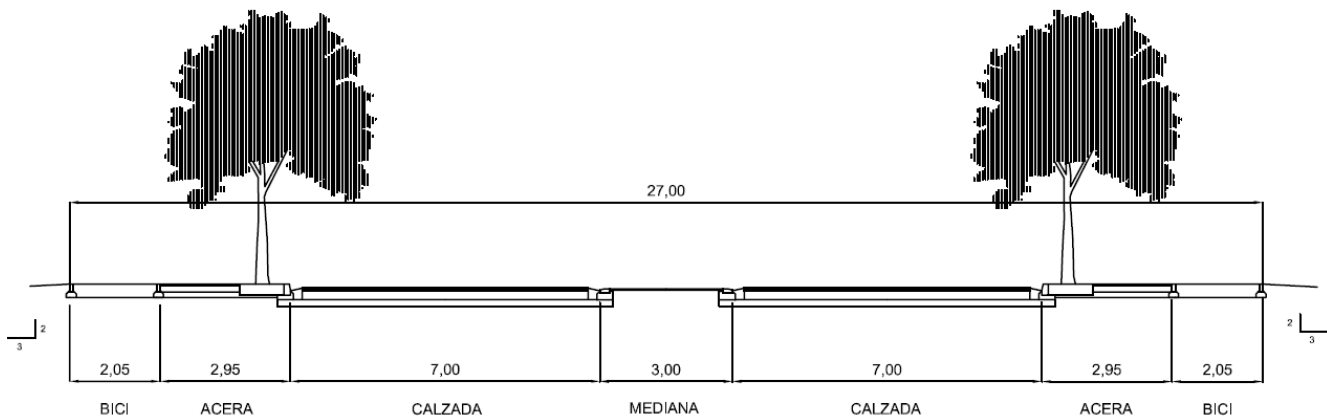


Figura 23: Sección tipo Av. Puerto Venecia
Fuente: Ayuntamiento de Zaragoza

2. Salida de Puerto Venecia a rotonda



Figura 24: Imagen de acceso a la rotonda desde Puerto Venecia
Fuente: Google Maps

Esta imagen corresponde a la salida del centro comercial Puerto Venecia, la cual produce problemas de retención a la salida, debido a que es la única salida posible. La calle está compuesta por 3 carriles más 1 adicional que conduce directamente a la autovía Z-40, aunque no todos los vehículos que circulan por esta calle pueden acceder a este carril adicional. Esto se debe a que la imagen corresponde a la salida, enlazando previamente otras 2 salidas:



Figura 25: Enlace de salidas de Puerto Venecia

Fuente: Google Maps

3. Z-40 a rotonda



Figura 26: Imagen de acceso a rotonda desde Z-40
Fuente: Google Maps

Esta imagen, muy similar a la anterior salida Nº2, tiene 3 carriles con uno más adicional, para aquellos conductores que no quieran verse envueltos en la rotonda e ir directamente hacia el barrio Parque Venecia, Z-30...

Tal y como se aprecia en la fotografía, es la única entrada a la rotonda que tiene la desventaja de contar con un paso de cebra en las inmediaciones de la rotonda, aunque no está demasiado pegado a la línea de ceda el paso.

9.3. ESTADO ACTUAL

Observando a pie de calle la rotonda de acceso de Puerto Venecia, se observa un tráfico medianamente fluido en los días lunes a jueves, con algunas retenciones en determinados momentos en los que se acumulan más vehículos a la entrada o salida de la rotonda.

El viernes y sábado el tráfico se multiplica. Se ocasionan importantes retenciones por los flujos unidireccionales de tráfico a la entrada a Puerto Venecia, desde la avenida de la Policía Local hacia la entrada del centro comercial Puerto Venecia; para salir, desde el centro comercial hacia la salida de la Ronda Norte y la avenida de la Policía Local.

A continuación se muestran unas imágenes para mostrar las largas retenciones ocurridas hasta la fecha:



Figura 27: Colapso de la entrada a Puerto Venecia
Fuente: El periódico de Aragón



Figura 28: Largas retenciones a la entrada y salida de Puerto Venecia
Fuente: Arainfo.com



Figura 29: Obstrucción de un carril de la Z-40 a causa del tráfico en Puerto Venecia.
Fuente: Heraldo de Aragón

A primera vista, se observa que la isleta central de la rotonda de Puerto Venecia es completamente redonda ($\varnothing 60\text{m}$), luego habrá que acondicionarla para el nuevo

diseño, con lo que habrá que ampliar casi todo el perímetro, pues la rotonda variará desde tener 1 sólo carril hasta un máximo de 3 (ver plano de diseño geométrico en planta).

Tal y como se remarca en el estudio de tráfico, los movimientos de los vehículos son los esperados tanto para entrar al centro comercial, como para salir del mismo. Llama la atención que el carril más interno de la rotonda apenas es ocupado por los vehículos, y que, constantemente, se utiliza mal dicho carril debido a que se ocupa parcialmente y se toman las salidas desde el carril más interno y el central.

TIPO DE TURBO ROTONDA PROPUESTA

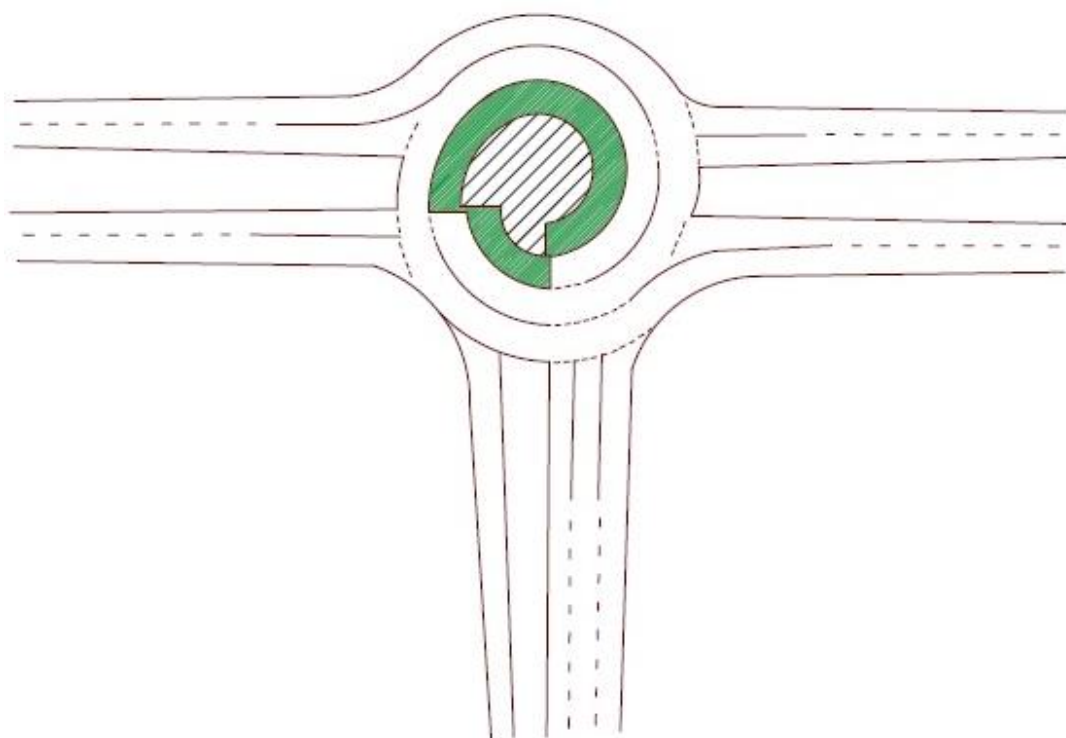


Figura 30: Turbo rotonda tipo Espiral de 3 ramales.
Fuente: Elaboración propia

Tras estudiar las diferentes tipologías de turbo rotondas que se han diseñado, se determinó que la tipo espiral de 3 ramales sería la idónea para la transformación de la rotonda actual. Aunque los carriles no son los mismos que la propuesta, se puede adaptar a la geometría de la isleta central.

Este tipo de turbo rotonda tiene un efecto en espiral muy marcado (los carriles interiores son "arrastrados" hacia los carriles exteriores).

9.4. ESTUDIO DE TRÁFICO

La rotonda de acceso a Puerto Venecia se sitúa entre dos redes arteriales de alta intensidad de la ciudad de Zaragoza. La primera de ellas, es el denominado "Tercer Cinturón" (Z-30), cuya velocidad está limitada a 50 km/h y se encuentra regulada por semáforos. La segunda red se denomina "Cuarto Cinturón" o Ronda Norte (Z-40), cuya construcción es más reciente. Tiene una velocidad limitada a 120 km/h debido a su carácter de autovía.

La conexión de ambas redes arteriales de la ciudad por el Sur de Zaragoza vino justificada por el desarrollo urbanístico, que pretendía la consolidación de la ciudad, dotando de accesos a los sectores SUZ (D) 38/1, SUZ 38/4, SUZ 88/1 y SUZ 88/3, situados entre el Tercer y Cuarto Cinturón.

La construcción de una turbo rotonda, en la actual rotonda de acceso a Puerto Venecia viene justificada por la gran demanda de tráfico que existe en los accesos y salidas durante ciertas horas por la mañana, y especialmente por la tarde, dando mayor relevancia a los días en los que las actividades de ocio son más frecuentes, como el viernes y, sobre todo, en sábado.

Gracias a los datos proporcionados por el Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza, se ha podido observar el tráfico de las rotondas que suponen una congestión para el tráfico.

Los principales accesos a Puerto Venecia se realizan desde la Z-30 y Z-40:

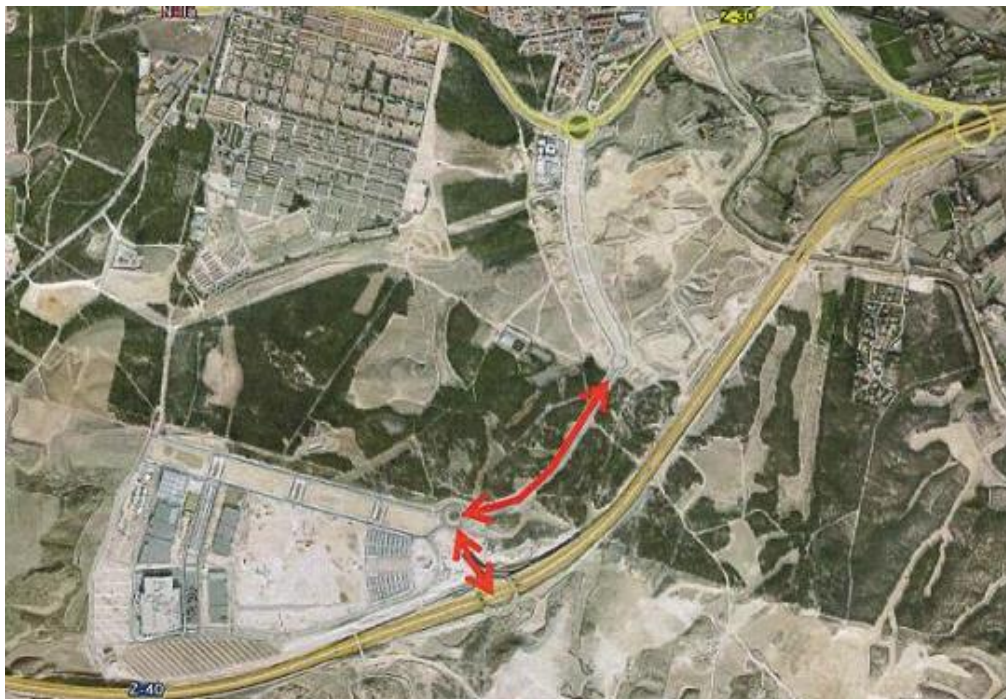


Figura 31: Accesos a Puerto Venecia
Fuente: Idom

La principal rotonda de acceso, objeto de estudio, se encuadra dentro de dos accesos provenientes de:

- Glorieta partida semaforizada en la Z-30, pasando por la Av. de la Policía Local.
- Glorieta elevada sobre la Z-40 con entradas y salidas en ambos sentidos.

El estudio de tráfico realizado en 2014, se centró en la problemática que existía, y todavía existe, en los accesos a Puerto Venecia, estudiando las 3 glorietas mencionadas para un sábado, pues es el día donde ocurren los mayores picos de tráfico (hora punta).

Este estudio refleja la comparación los sábados en el año 2012 y en el 2014. A continuación se exponen datos de aforos automáticos y manuales realizados sobre la rotonda de acceso a Puerto Venecia.

9.4.1. TRABAJO DE CAMPO

9.4.1.1. DISTRIBUCIÓN HORARIA EN 2012

| | 1001 | 1002 | 1003 | 1004 | 1005 | 1006 | 1007 | 1008 | 1009 | 1010 | 1011 | 1012 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 0-1 | 12 | 19 | 6 | 39 | 45 | 32 | 58 | 30 | 13 | 4 | 75 | 41 |
| 1-2 | 5 | 18 | 2 | 26 | 27 | 23 | 31 | 22 | 6 | 5 | 42 | 31 |
| 2-3 | 3 | 11 | 4 | 18 | 22 | 14 | 26 | 15 | 10 | 2 | 26 | 23 |
| 3-4 | 4 | 5 | 2 | 10 | 13 | 9 | 6 | 10 | 11 | 1 | 15 | 14 |
| 4-5 | 2 | 12 | 3 | 6 | 9 | 15 | 7 | 16 | 8 | 2 | 50 | 45 |
| 5-6 | 7 | 35 | 3 | 6 | 9 | 41 | 12 | 48 | 12 | 3 | 25 | 61 |
| 6-7 | 8 | 44 | 8 | 36 | 43 | 53 | 38 | 57 | 16 | 8 | 48 | 58 |
| 7-8 | 13 | 61 | 22 | 93 | 113 | 72 | 82 | 140 | 113 | 10 | 113 | 232 |
| 8-9 | 20 | 98 | 22 | 102 | 126 | 119 | 86 | 149 | 84 | 25 | 103 | 180 |
| 9-10 | 34 | 131 | 44 | 184 | 224 | 165 | 97 | 277 | 295 | 37 | 141 | 334 |
| 10-11 | 63 | 255 | 95 | 453 | 552 | 315 | 234 | 692 | 906 | 210 | 275 | 738 |
| 11-12 | 119 | 317 | 104 | 565 | 654 | 433 | 403 | 707 | 994 | 424 | 446 | 750 |
| 12-13 | 162 | 411 | 99 | 526 | 623 | 577 | 630 | 753 | 986 | 697 | 709 | 809 |
| 13-14 | 198 | 444 | 83 | 438 | 518 | 635 | 770 | 520 | 631 | 818 | 872 | 560 |
| 14-15 | 144 | 392 | 56 | 374 | 431 | 539 | 607 | 427 | 486 | 611 | 668 | 474 |
| 15-16 | 100 | 287 | 71 | 306 | 374 | 384 | 375 | 375 | 525 | 400 | 418 | 459 |
| 16-17 | 132 | 313 | 96 | 425 | 517 | 443 | 354 | 514 | 778 | 454 | 388 | 575 |
| 17-18 | 146 | 353 | 113 | 519 | 627 | 495 | 456 | 749 | 1065 | 532 | 504 | 785 |
| 18-19 | 205 | 500 | 137 | 639 | 775 | 703 | 642 | 942 | 1274 | 789 | 704 | 958 |
| 19-20 | 271 | 565 | 135 | 619 | 754 | 830 | 847 | 910 | 1216 | 1051 | 930 | 907 |
| 20-21 | 308 | 562 | 77 | 457 | 530 | 858 | 923 | 550 | 726 | 1101 | 980 | 557 |
| 21-22 | 256 | 405 | 32 | 268 | 301 | 661 | 888 | 250 | 287 | 955 | 929 | 293 |
| 22-23 | 98 | 171 | 21 | 149 | 171 | 272 | 399 | 109 | 111 | 341 | 448 | 137 |
| 23-24 | 35 | 44 | 11 | 73 | 81 | 79 | 125 | 55 | 41 | 30 | 133 | 65 |
| | 2.345 | 5.453 | 1.246 | 6.331 | 7.539 | 7.767 | 8.096 | 8.317 | 10.594 | 8.510 | 9.042 | 9.086 |

Tabla 4: Distribución horaria año 2012

Fuente: Idom

- ♦ La hora punta se sitúa entre las 18 y las 21 horas.
- ♦ Durante la hora punta circula el 12% del total de la IMD diaria.

9.4.1.2. DISTRIBUCIÓN HORARIA EN 2014

| | 110 | 220 | 330 | 331 | 440 | 441 | 550 | 551 | 660 | 661 | 770 | 880 | 990 | SUMA |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| 8-9 | | 263 | 270 | 82 | | | | | | | 31 | 94 | 56 | 796 |
| 9-10 | 240 | 578 | 607 | 194 | 471 | 136 | 56 | 205 | 25 | 32 | 108 | 411 | 267 | 3.330 |
| 10-11 | 411 | 1.098 | 1.146 | 352 | 1.065 | 240 | 120 | 278 | 96 | 102 | 286 | 677 | 649 | 6.520 |
| 11-12 | 556 | 1.401 | 1.458 | 533 | 1.200 | 291 | 210 | 444 | 174 | 221 | 547 | 770 | 743 | 8.548 |
| 12-13 | 940 | 1.278 | 1.326 | 929 | 1.044 | 220 | 321 | 649 | 385 | 439 | 879 | 689 | 656 | 9.755 |
| 13-14 | 1.194 | 978 | 984 | 1.170 | 837 | 179 | 418 | 789 | 607 | 523 | 1.079 | 548 | 426 | 9.732 |
| 14-15 | 998 | 761 | 705 | 1.008 | 639 | 129 | 388 | 336 | 553 | 502 | 873 | 375 | 372 | 7.639 |
| 15-16 | 658 | 763 | 748 | 652 | 688 | 155 | 284 | 74 | 365 | 299 | 663 | 541 | 413 | 6.303 |
| 16-17 | 730 | 969 | 969 | 715 | 880 | 219 | 321 | 428 | 410 | 354 | 706 | 644 | 562 | 7.907 |
| 17-18 | 735 | 1.349 | 1.364 | 749 | 1.149 | 284 | 418 | 682 | 545 | 385 | 811 | 825 | 825 | 10.121 |
| 18-19 | 822 | 1.628 | 1.679 | 821 | 1.194 | 354 | 504 | 737 | 685 | 489 | 841 | 911 | 807 | 11.472 |
| 19-20 | 960 | 1.432 | 1.510 | 975 | 1.113 | 243 | 610 | 899 | 819 | 605 | 1.028 | 752 | 595 | 11.541 |
| 20-21 | 1.327 | 1.086 | 1.092 | 1.376 | 829 | 218 | 731 | 1.138 | 1.123 | 829 | 1.389 | 391 | 466 | 11.995 |
| 21-22 | 1.479 | 678 | 664 | 1.617 | 431 | 94 | 1.004 | 1.268 | 1.273 | 1.044 | 1.663 | 341 | 184 | 11.740 |
| 22-23 | 1.192 | 305 | 265 | 1.211 | 196 | 63 | 658 | 916 | 870 | 696 | 1.218 | 173 | 63 | 7.826 |
| 23-24 | 447 | 122 | 98 | 456 | 86 | 28 | 207 | 341 | 288 | 260 | 386 | 80 | 11 | 2.810 |
| | 12.689 | 14.689 | 14.885 | 12.840 | 11.822 | 2.853 | 6.250 | 9.184 | 8.218 | 6.780 | 12.508 | 8.222 | 7.095 | |

Tabla 5: Distribución horaria año 2014

Fuente: Idom

- ♦ La hora punta se registra entre las 17 y las 22 horas (pico horario 20-21).
- ♦ Durante el periodo pico circula casi el 45% del total de la IMD diaria.
- ♦ Los picos se concentran principalmente a las 18 y las 21 horas.

9.4.1.3. COMPARATIVA DISTRIBUCIÓN HORARIA 2012/2014

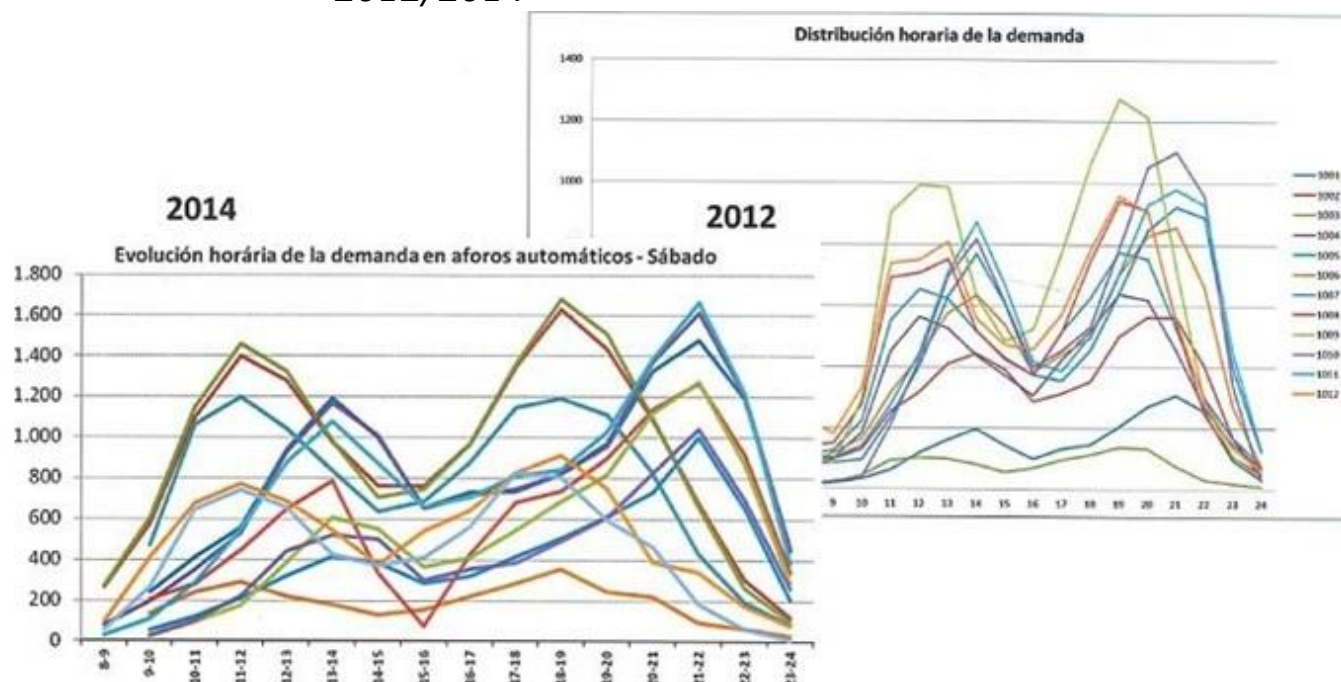


Figura 32: Distribución horaria de la demanda 2012-2014

Fuente: Idom

9.4.1.4. AFOROS DIRECCIONALES. ROTONDA PUERTO VENECIA.

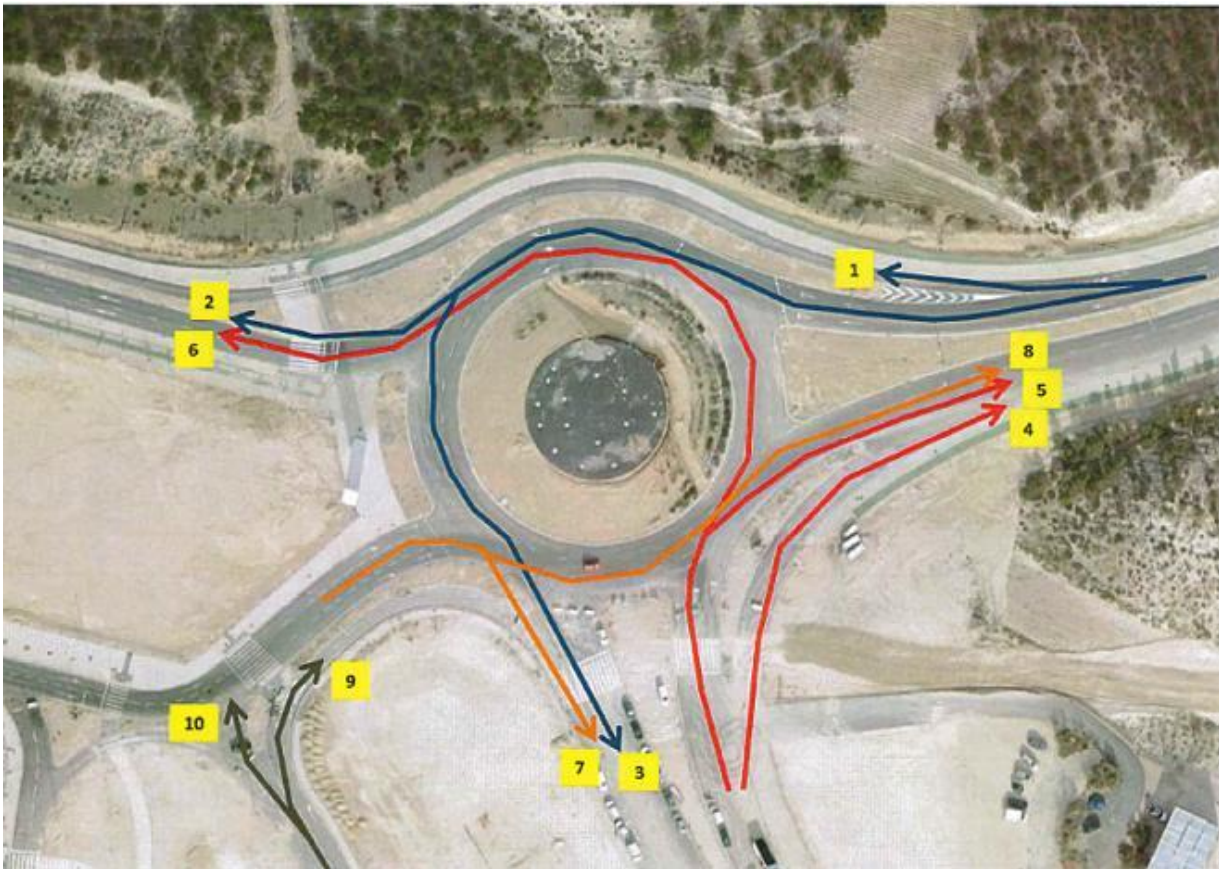


Figura 33: Distribución de movimientos en la rotonda
Fuente: Idom

Como se observa en la imagen del estado actual de la planta de la rotonda, se han numerado los flujos de dirección más típicos, para las entradas y salidas de la rotonda, excluyendo las "vueltas completas" o cambios de sentido.

- ♦ Las entradas a Puerto Venecia son: 1, 2 y 6.
- ♦ Las salidas de Puerto Venecia son: 3, 4, 5, 7, 8, 9 y 10.

Las campañas de aforos direccionales fueron de 17:30 a 20:30.

Punto: C.Puerto Venecia-Z-40

2012

| | | Movimiento 1 | Movimiento 2 | Movimiento 3 | Movimiento 4 | Movimiento 5 | Movimiento 6 | Movimiento 7 | Movimiento 8 | Movimiento 9 | Movimiento 10 | |
|--------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------|
| | | Vehiculos | Vehiculos | Vehiculos | Vehiculos | Vehiculos | Vehiculos | Vehiculos | Vehiculos | Vehiculos | Vehiculos | Total |
| 17:00a | 17:15 | | | | | | | | | | | |
| 17:15a | 17:30 | | | | | | | | | | | |
| 17:30a | 17:45 | 27 | 166 | 40 | 37 | 19 | 130 | 88 | 115 | 24 | 25 | 671 |
| 17:45a | 18:00 | 29 | 190 | 34 | 27 | 14 | 119 | 72 | 122 | 23 | 26 | 656 |
| 18:00a | 18:15 | 26 | 182 | 58 | 23 | 15 | 144 | 81 | 105 | 25 | 23 | 682 |
| 18:15a | 18:30 | 31 | 167 | 44 | 37 | 14 | 172 | 74 | 115 | 27 | 33 | 714 |
| 18:30a | 18:45 | 24 | 165 | 42 | 22 | 13 | 176 | 103 | 124 | 22 | 23 | 714 |
| 18:45a | 19:00 | 27 | 209 | 59 | 17 | 11 | 125 | 125 | 128 | 23 | 37 | 761 |
| 19:00a | 19:15 | 30 | 192 | 44 | 31 | 13 | 188 | 91 | 151 | 26 | 38 | 804 |
| 19:15a | 19:30 | 38 | 190 | 49 | 24 | 7 | 98 | 137 | 136 | 35 | 36 | 750 |
| 19:30a | 19:45 | 22 | 190 | 47 | 38 | 17 | 142 | 157 | 155 | 37 | 50 | 855 |
| 19:45a | 20:00 | 20 | 193 | 33 | 27 | 11 | 71 | 136 | 191 | 26 | 58 | 766 |
| 20:00a | 20:15 | 10 | 130 | 49 | 17 | 16 | 97 | 136 | 215 | 29 | 59 | 758 |
| 20:15a | 20:30 | 18 | 111 | 34 | 21 | 13 | 101 | 160 | 152 | 33 | 42 | 685 |
| 20:30a | 20:45 | 7 | 103 | 34 | 25 | 10 | 82 | 111 | 174 | 47 | 64 | 657 |
| 20:45a | 21:00 | 11 | 106 | 55 | 28 | 31 | 78 | 97 | 182 | 46 | 44 | 678 |
| 21:00a | 21:15 | 2 | 77 | 49 | 14 | 15 | 34 | 74 | 156 | 37 | 52 | 510 |
| 21:15a | 21:30 | 7 | 67 | 34 | 21 | 21 | 32 | 66 | 101 | 35 | 57 | 441 |
| | | 329 | 2438 | 705 | 409 | 240 | 1789 | 1708 | 2322 | 495 | 667 | |

Tabla 6: Distribución de movimientos en horas punta (2012)

Fuente: Idom

2014

| | | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | TOTAL |
|-------|---|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | | Lig. | Pes. | Lig. | Pes. | Lig. | Pes. | Lig. | Pes. | Lig. | Pes. | Lig. | Pes. | Lig. | Pes. | Lig. | Pes. | Lig. | Pes. | |
| 17:30 | A | 17:45 | 227 | 0 | 170 | 2 | 31 | 0 | 26 | 0 | 9 | 0 | 323 | 2 | 131 | 0 | 207 | 3 | 176 | 3 | 1.310 |
| 17:45 | A | 18:00 | 237 | 0 | 176 | 4 | 30 | 0 | 24 | 0 | 9 | 0 | 302 | 0 | 129 | 0 | 215 | 3 | 191 | 3 | 1.323 |
| 18:00 | A | 18:15 | 224 | 0 | 181 | 5 | 31 | 0 | 24 | 0 | 7 | 0 | 299 | 0 | 123 | 0 | 205 | 3 | 197 | 5 | 1.304 |
| 18:15 | A | 18:30 | 258 | 1 | 186 | 4 | 26 | 0 | 26 | 0 | 12 | 0 | 348 | 0 | 158 | 0 | 201 | 3 | 177 | 3 | 1.403 |
| 18:30 | A | 18:45 | 256 | 0 | 185 | 5 | 29 | 0 | 27 | 0 | 11 | 0 | 334 | 0 | 128 | 0 | 211 | 3 | 171 | 4 | 1.364 |
| 18:45 | A | 19:00 | 249 | 0 | 185 | 2 | 32 | 0 | 27 | 0 | 10 | 0 | 340 | 0 | 164 | 0 | 213 | 3 | 196 | 3 | 1.424 |
| 19:00 | A | 19:15 | 239 | 0 | 185 | 4 | 37 | 0 | 26 | 0 | 10 | 0 | 336 | 0 | 178 | 0 | 230 | 3 | 201 | 3 | 1.452 |
| 19:15 | A | 19:30 | 208 | 0 | 174 | 3 | 38 | 0 | 25 | 0 | 9 | 0 | 318 | 0 | 173 | 0 | 248 | 4 | 210 | 6 | 1.416 |
| 19:30 | A | 19:45 | 210 | 0 | 165 | 3 | 34 | 0 | 23 | 0 | 7 | 0 | 293 | 0 | 158 | 1 | 171 | 3 | 118 | 3 | 1.189 |
| 19:45 | A | 20:00 | 174 | 0 | 142 | 5 | 31 | 1 | 20 | 0 | 6 | 0 | 252 | 0 | 203 | 0 | 169 | 3 | 137 | 3 | 1.146 |
| 20:00 | A | 20:15 | 141 | 0 | 123 | 3 | 24 | 0 | 19 | 0 | 6 | 0 | 241 | 0 | 181 | 0 | 197 | 3 | 166 | 4 | 1.108 |
| 20:15 | A | 20:30 | 154 | 0 | 138 | 4 | 25 | 0 | 19 | 0 | 7 | 0 | 233 | 0 | 228 | 0 | 171 | 2 | 184 | 4 | 1.169 |

Tabla 7: Distribución de movimientos en horas punta (2014)

Fuente: Idom

- ♦ En 2012, la hora punta se registró de 19 a 20 horas, circulando entre 750 y 855 vehículos cada cuarto de hora por la rotonda.
- ♦ En 2014 la hora punta se registra de 18:15 a 19:30 horas, registrándose valores elevados desde las 17:30 hasta las 19:30.
- ♦ Circulan entre 1.108 y 1.452 vehículos cada cuarto de hora por la rotonda, con lo que ha aumentado respecto al 2012 más del 70%.

A continuación se exponen los porcentajes de giros en los años 2012 y 2014. Estos son datos fundamentales de cara a determinar la estructura de la turbo rotonda, ya que los flujos de dirección predominantes marcarán las direcciones de los carriles con mayor o menor peso.

ACCESO ROTONDA DESDE Z-30



Figura 34: Porcentaje de giros desde Z-30 año 2012
Fuente: Idom



Figura 35: Porcentaje de giros desde Z-30 año 2014
Fuente: Idom

ACCESO ROTONDA DESDE Z-40



Figura 36: Porcentaje de giros desde Z-40 año 2012
Fuente: Idom

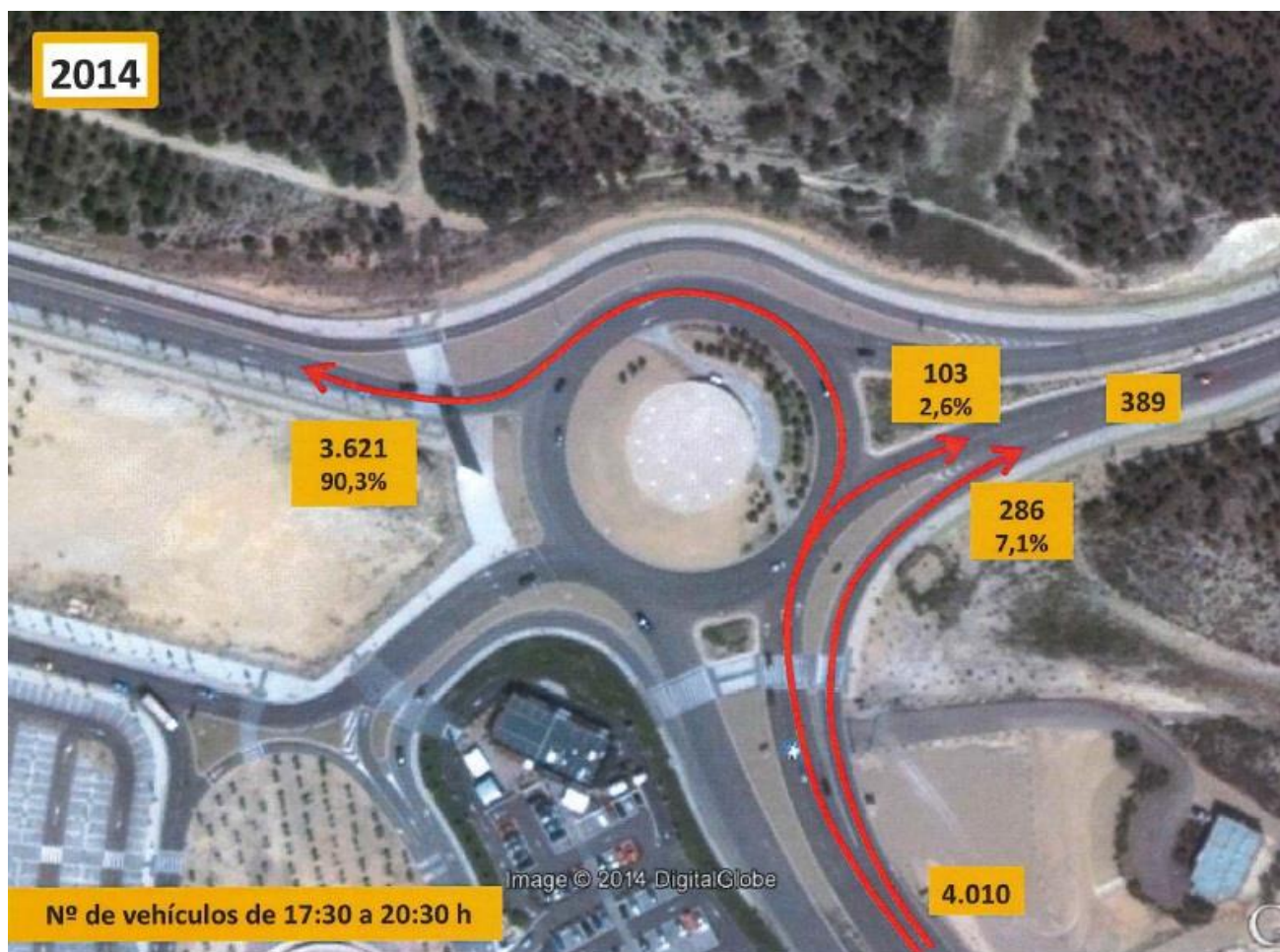


Figura 37: Porcentaje de giros desde Z-40 año 2014
Fuente: Idom

ACCESO ROTONDA DESDE SALIDA PUERTO VENECIA



Figura 38: Porcentaje de giros desde Puerto Venecia año 2012
Fuente: Idom



Figura 39: Porcentaje de giros desde Puerto Venecia año 2014
Fuente: Idom

9.4.2. DEMANDA FUTURA

Según el estudio de tráfico, se espera un incremento de 10.000 vehículos/día (hasta un máximo de 38.000 vehículos/día), lo que significa que durante la hora punta del sábado tarde entrarán a Puerto Venecia 930 vehículos y saldrán 790.

La matriz resultante pasa a tener 8.369 vehículos, 1.700 más que la actual, lo que representa un incremento del 20%. Los incrementos de demanda durante la hora punta del sábado pueden verse en el grafo siguiente.

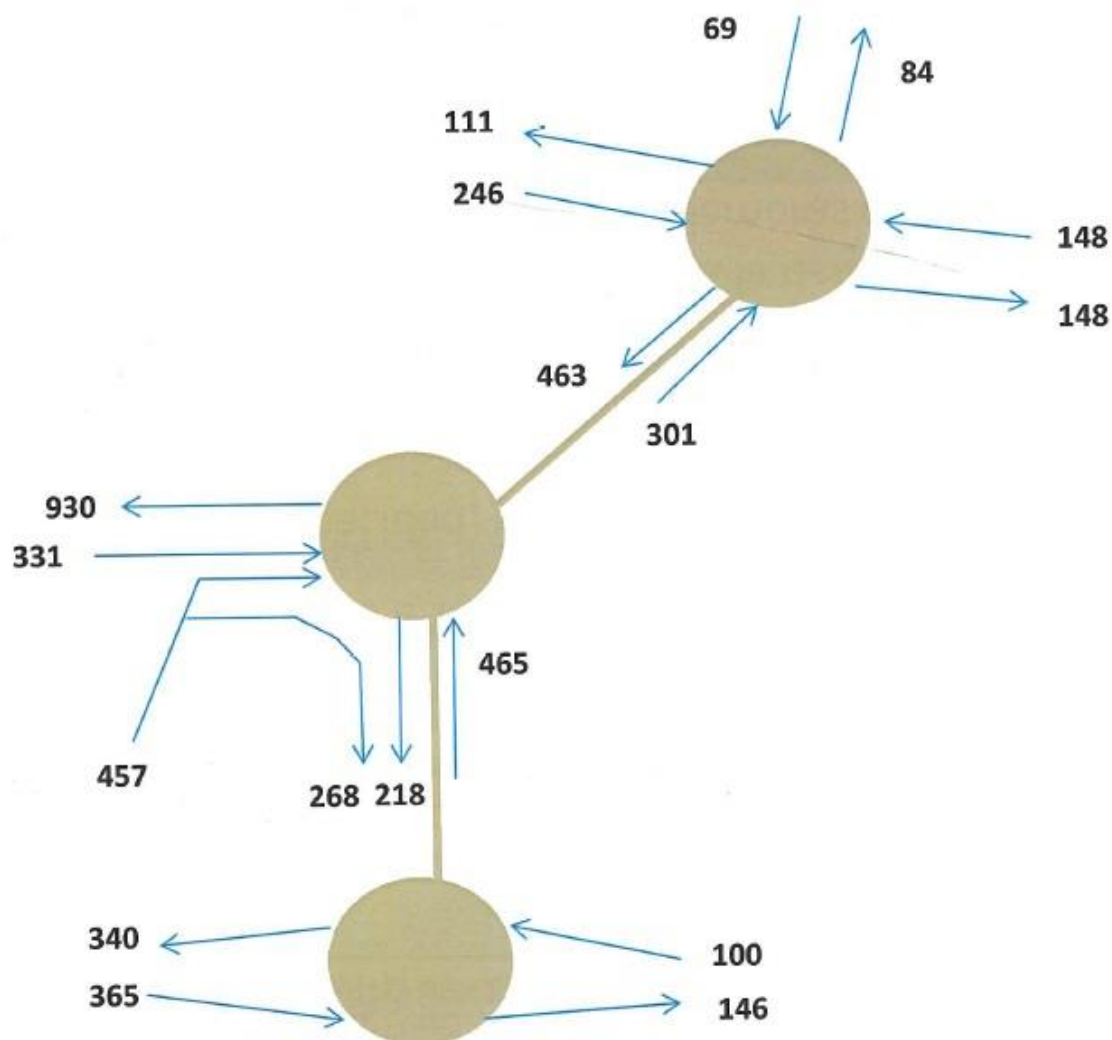


Figura 40: Gráfico de demandas futuras en las 3 rotondas de acceso a Puerto Venecia
Fuente: Idom

10. ANÁLISIS DE SEGURIDAD VIAL

Este apartado está destinado a evaluar y comparar las ventajas e inconvenientes entre las glorietas convencionales de 3 carriles y la turbo rotonda de 3 carriles.

Para obtener datos con un mayor rendimiento, trazaremos los flujos de tráfico posibles que se realizarán para nuestra turbo rotonda en particular, pues existen, como hemos visto, bastantes tipos.

Además de diagnosticar los conflictos que ocurrirán dentro de la turbo rotonda entre los vehículos, introduciremos otras variables que afectarán a la seguridad, como son: la geometría, elementos de señalización, peatones, ciclistas, etc.

Hay que señalar que los comportamientos que se analicen, serán comportamientos "tipo", es decir, lo habitual para estas situaciones, pues puede variar en función de cada usuario.

PUNTOS DE CONFLICTO

Una de las ventajas fundamentales que se anuncian de las turbo rotondas, es su mejora en la seguridad vial. Esta es una característica muy importante, pues desde hace varios años la seguridad en la carretera se ha posicionado como el factor primordial en el diseño de las mismas.

Las rotondas son nudos donde confluyen grandes tráfico en un mismo punto, por lo tanto, el riesgo de accidente aumenta mucho más que en cualquier otro punto de la carretera.

Los tres tipos de conflicto que hay existen en una rotonda son:

- Conflicto por entrada: se da cuando un vehículo entra a cualquiera de los carriles de la rotonda pudiendo colisionar con otro vehículo que tiene preferencia sobre el que se incorpora.
- Conflicto por entrecruzamiento: se da cuando un vehículo, en su deseo de abandonar la rotonda, se cambia de un carril interno a otro externo para ir aproximándose al carril óptimo que le permita salir de la intersección, provocando un choque lateral con otro vehículo que circula por su carril.

ANÁLISIS DE SEGURIDAD VIAL

- Conflicto por salida: se da cuando un vehículo quiere abandonar la rotonda y no está situado en el carril adecuado para ello, pudiendo entrar en conflicto con otro vehículo situado en el carril externo que circula por su carril o también pretende abandonar la intersección.

A continuación se muestra un ejemplo de una glorieta y una turbo rotonda sencilla de 2 carriles, con los posibles conflictos mencionados:

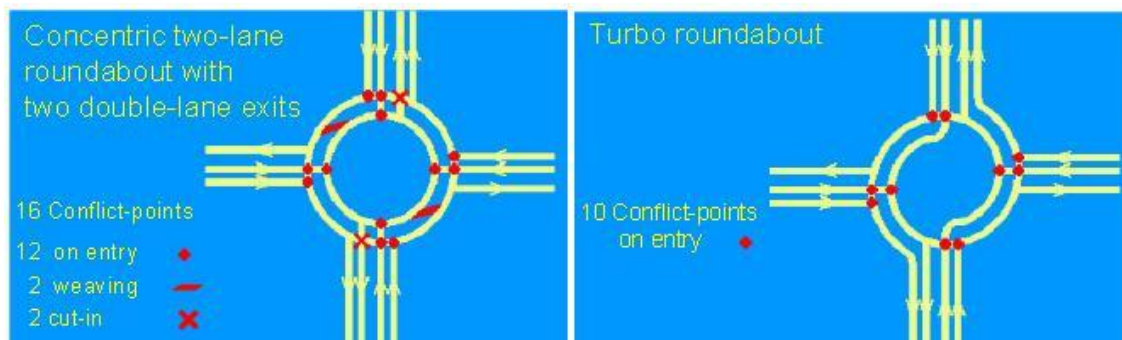


Figura 41: Comparación de puntos de conflicto entre rotonda de 2 carriles y turbo rotonda tipo.
Fuente: Fortuijn, Lambertus. Turbo Roundabouts. Design principles and safety performance (2009a).

Se observa que los conflictos por entrecruzamiento y por salida no existen en las turbo rotondas, pues las canalizaciones de carriles hacia la salida, así como la forma de espiral, que conduce a los carriles hacia el exterior, imposibilita los conflictos una vez incorporado el vehículo en la turbo rotonda.

A continuación se muestran las figuras de una rotonda con 3 carriles y nuestra turbo rotonda en particular:

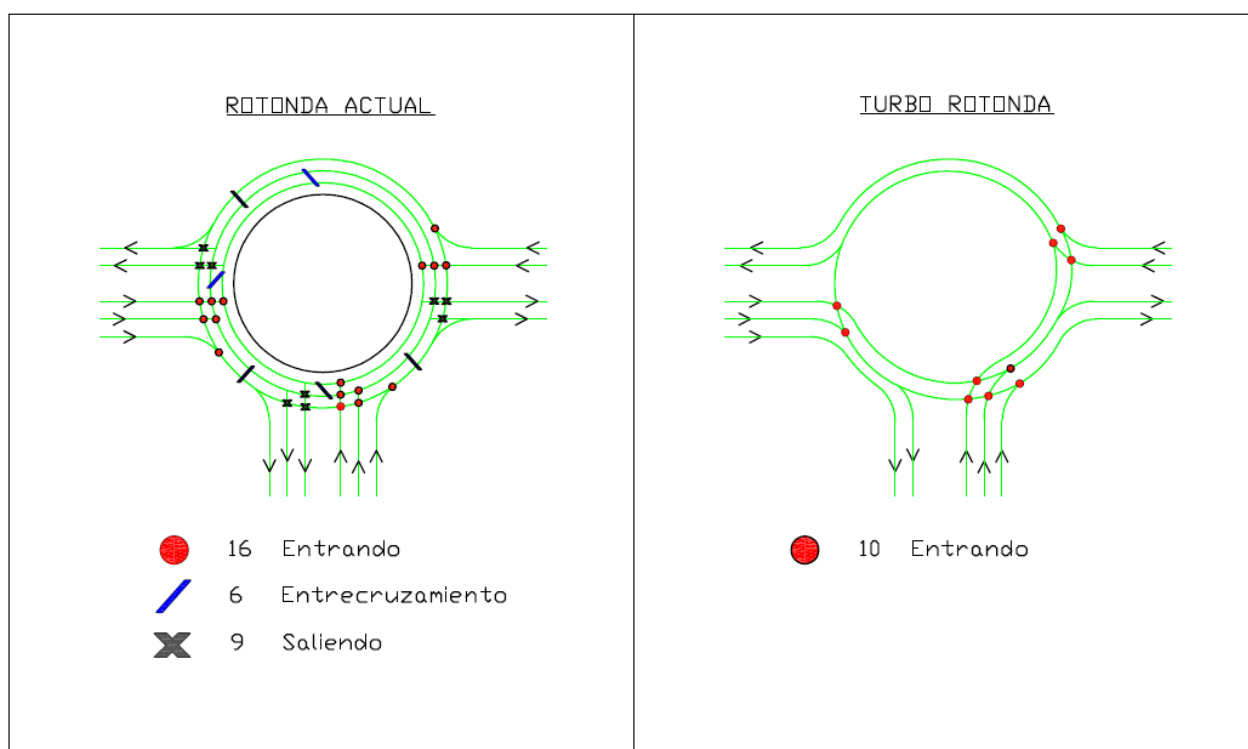


Figura 42: Comparación de puntos de conflicto entre rotonda de 3 carriles y turbo rotonda propuesta.

Fuente: Elaboración propia

La mejora en seguridad, en lo que a conflictividad de vehículos dentro de la intersección se refiere, es mucho mayor si se opta por una turbo rotonda. Con la configuración actual existen 31 puntos de conflicto, mientras que con la transformación a turbo rotonda tendríamos sólo 10, un 67,7% menos.

Una de las características de las turbo rotondas es que, por lo general, tienen un mayor radio de giro que las rotondas convencionales, esto hace que la velocidad dentro de la intersección sea un poco más elevada, evitando que se tomen trayectorias demasiado rectas, en pequeñas rotondas, o que se circule de manera temeraria a velocidades que comprometan los giros.

11. PREDIMENSIONAMIENTO

11.1. NORMATIVA Y RECOMENDACIONES

Anteriormente se enunciaron una serie de parámetros geométricos que deberían cumplirse en cuanto al diseño del radio de la isleta central, así como de las isletas laterales. Éstos son parámetros de obligado cumplimiento para poder circular en condiciones seguras y con absoluta normalidad, sin tener que prestar una atención extra que la que conllevan este tipo de intersecciones.

A continuación se muestra una serie de pasos recomendados a seguir por "Ministerio de Transporte, Obras Públicas y Administración del agua de Holanda (2009) *Glo-rietas - Aplicación y diseño, un manual práctico*" para nuestra tipología de turbo rotonda en concreto:

Espirales

Una turbo rotonda consta de espirales. Estas espirales se componen de segmentos de arcos circulares, a menudo semicírculos, con cada arco que tiene un radio mayor que el arco anterior. Cuando el radio del arco cambia, el centro de los arcos cambia por una cantidad correspondiente, de modo que la curva sigue siendo continua.

En una geometría idealizada, la rotonda básica consiste en dos espirales anidadas, que representan los límites de carril. Cada espiral consta de tres semicírculos con radios más grandes sucesivamente. Los semicírculos se reúnen en una línea llamada el eje de traducción.

Los arcos en el lado derecho del eje de traducción tienen un centro C derecho que está por encima del centro general de la rotonda; los arcos en el lado izquierdo del eje de traducción tienen un centro hendido que está por debajo del centro general.

El sesgo de un arco es la distancia desde su centro al centro general, y por lo tanto es la mitad del turno. A fin de que la espiral sea continua, el cambio debe ser igual a la variación de radio.

Idealmente, el cambio es un ancho de la calzada, debido a que la espiral se mueve hacia fuera por un ancho de la calzada cada 180 grados. Un bosquejo que muestra estas espirales se llama un "bloque turbo", una herramienta de diseño útil en el geométrica diseño de una turbo rotonda.

Proceso de diseño

El proceso de diseño geométrico tiene cinco pasos:

Paso 1: para seleccionar anchos de los elementos básicos - el radio interior, dentro y fuera de las carreteras, el divisor de carril, las compensaciones entre los bordes de caminos y las líneas de carril. La Figura 43 muestra un ejemplo. Los anchos de carril se deben determinar mediante el análisis del barrido trayectoria del vehículo de diseño. Debido a que los caminos de barrido son más anchos cuando el radio es más estrecho, la anchura del carril interior (línea a línea 4,65 m medida, o 5,30 m medida desde el borde del pavimento de divisor) es 0,30 m mayor que la anchura del carril exterior.

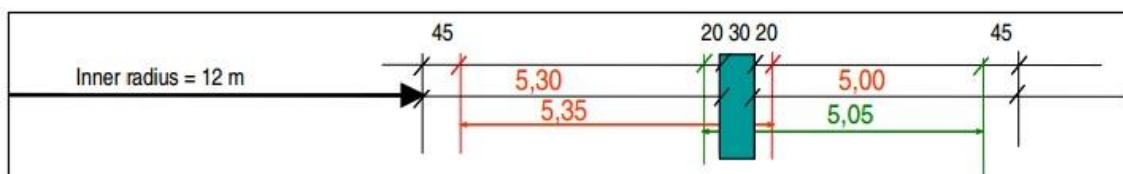


Figura 43: Carril, línea de borde y la línea de anchuras y distancias entre líneas de borde en una turbo rotonda.

Paso 2: determinar los cambios que las líneas de carril, y los sesgos resultantes para dibujar el arco de medio punto. A diferencia de la geometría ideal, a la geometría real de espirales de una turbo rotonda es complicada por la necesidad de tener en cuenta diferentes anchuras de carril y para la anchura del divisor de carril. En lugar de un solo punto $C^{derecho}$ central para los arcos semicirculares en el lado derecho del eje de la traducción, hay dos puntos centrales del lado derecho, uno con un sesgo ligeramente más grande que el otro. El punto central con el sesgo más grande se utiliza para el semicírculo más interior, para hacer la transición desde el interior de borde para el divisor de media; el otro punto central se utiliza para el resto de la espiral. Estos dos puntos centrales se pueden ver en el bloque turbo bosquejo (véase la figura 44 y 45) del ejemplo. Del mismo modo, los arcos en el lado izquierdo del eje de traducción tienen dos centros con pocos sesgos diferentes.

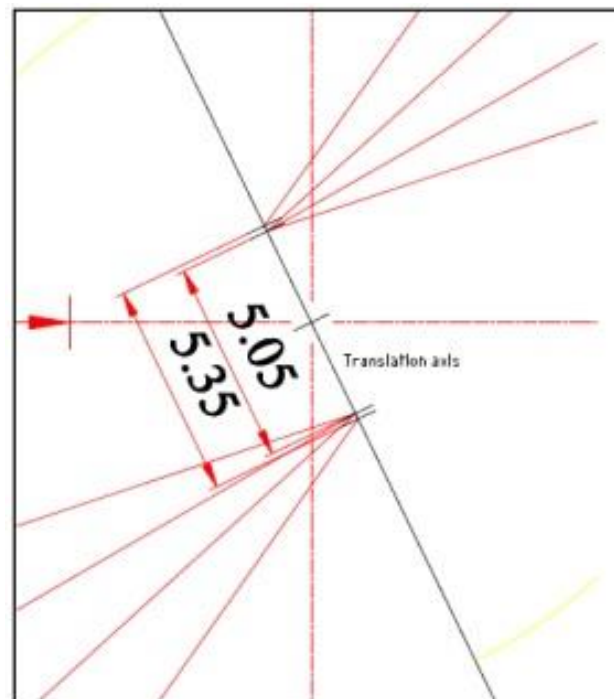


Figura 44: Detalle de centros que muestran los arcos en una turbo rotonda.

Los cambios se pueden calcular a partir de un esquema de sección transversal tal como en la figura 43. Allí, se puede ver que el interior de las líneas de carril cambia 5,35 m en la transición desde el interior de la rotonda al divisor de carril. Uno puede ver también, que las líneas de carril exteriores cambian 5,05 m en su transición desde el divisor de carril para el exterior de la rotonda.

Paso 3: calcular los radios de los arcos circulares, y esbozar el bloque turbo. Dependiendo de la necesidad, uno puede centrarse en espirales que representan líneas de carril, cuyos arcos tienen radios $R1$ 'a $R4'$, o espirales cuyos arcos representan los bordes de carretera, con radios $R1$ a $R4$. En la tabla 8 se muestra cómo se definen estos radios y el cálculo.

| Elementos de sección transversal | anchura | | | |
|---|-----------------------|-------|------------------|----------------|
| Radio de inercia | 2.00 | | | |
| desplazamiento línea de borde int | 0.45 | | | |
| carril interior | 4.65 | | | |
| línea interior divisor compensado | 0.20 | | | |
| divisor | 0.30 | | | |
| línea exterior divisor compensado | 0.20 | | | |
| carril exterior | 4.35 | | | |
| línea de borde exterior | 0.45 | | | |
| Anchos de carreteras, turnos, y sesgos | | | | |
| Ancho de la calzada en el interior | 5.30 | | | |
| Ancho de la calzada outsider | 5.00 | | | |
| SHIFT1 (dentro de media) | | 5.35 | | |
| Shift2 (centro hacia el exterior) | | | 5.05 | |
| Sesgo1 = SHIFT1 / 2 (se aplica a R1 y R1') | 2.675 | | | |
| Sesgo 2 = Shift2 / 2 (se aplica a los demás radios) | | | 2.525 | |
| Diferencia de sesgo | | | 0.15 | |
| Radio de líneas de carril | Arco central de sesgo | radio | posición inicial | posición final |
| R1 '=dentro de carril, línea interior | 2.675 | 12.45 | 9.775 | 15.125 |
| R3 '= carril exterior, línea interior | 2.525 | 17.65 | 15.125 | 20.175 |
| diferencia | | | 5.350 | 5.050 |
| R2 '=dentro de carril, línea exterior | 2.525 | 16.95 | | |
| R4 '= carril exterior, línea exterior | 2.525 | 22.00 | | |
| R1' = radio interior + borde interior línea compensado R3' = R1 + SHIFT1 - diferencia sesgo diferencias coinciden SHIFT1 y Shift2; También, final posición de R1' coincide posición de R3' de inicio R2' = R3' - anchura de divisor y el divisor compensado R4' = R2 + Shift2 = R3' + ancho carril exterior | | | | |
| Radios de borde de carretera | Arco central de sesgo | radio | posición inicial | posición final |
| R1 = dentro calzada, borde interno | 2.675 | 12.00 | 9.325 | 14.675 |
| R2 = dentro calzada, borde externo | 2.525 | 17.15 | 14.625 | 19.675 |
| diferencia | | | 5.300 | 5.000 |
| R3 = calzada exterior, borde interno | 2.525 | 17.45 | | |
| R4 = calzada exterior, borde externo | 2.525 | 22.45 | | |
| posición inicial = radio - sesgo; posición final = radio + sesgo R1 = radio interior R2 = R1 + anchura interior calzada - diferencia sesgo diferencias coinciden con anchos de calzada R3 = R2 + anchura divisor R4 = R3 + fuera de ancho de la calzada | | | | |

Tabla 8: Cálculos de geometría de la turbo rotonda

Paso 4: la rotación global y traducción del bloque de turbo para que coincida con los ramales que entran. En la figura 44 se muestra la posición correcta del eje de traducción cuando la corriente principal es de Este a Oeste. Para un correcto posicionamiento del eje de traducción, la distancia entre el borde derecho de cada ramal de entrada y el interior curva del carril exterior de la rotonda después de ¼ de vuelta debe ser más o menos igual (A es igual a B, véase el gráfico 46)

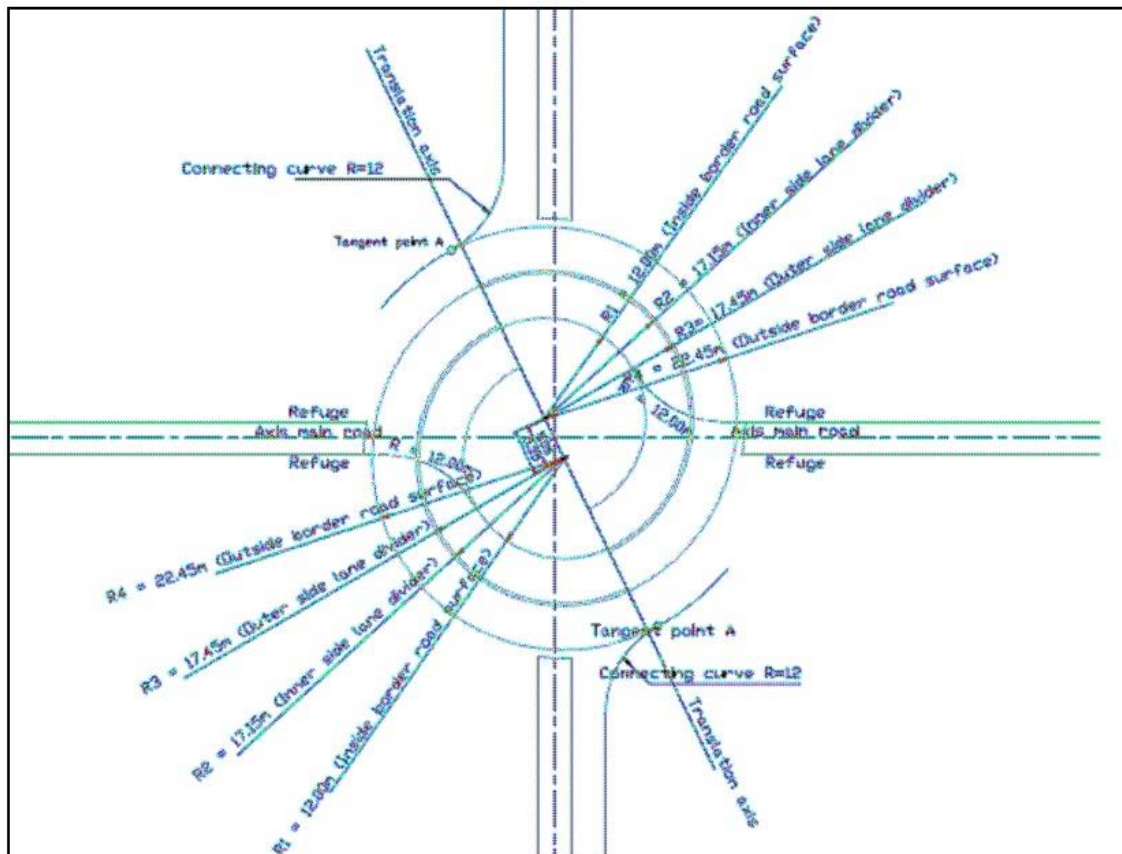


Figura 45: Bloque Turbo de una turbo rotonda estándar ajustada a las entradas cuando el flujo de tráfico principal es Este-Oeste.

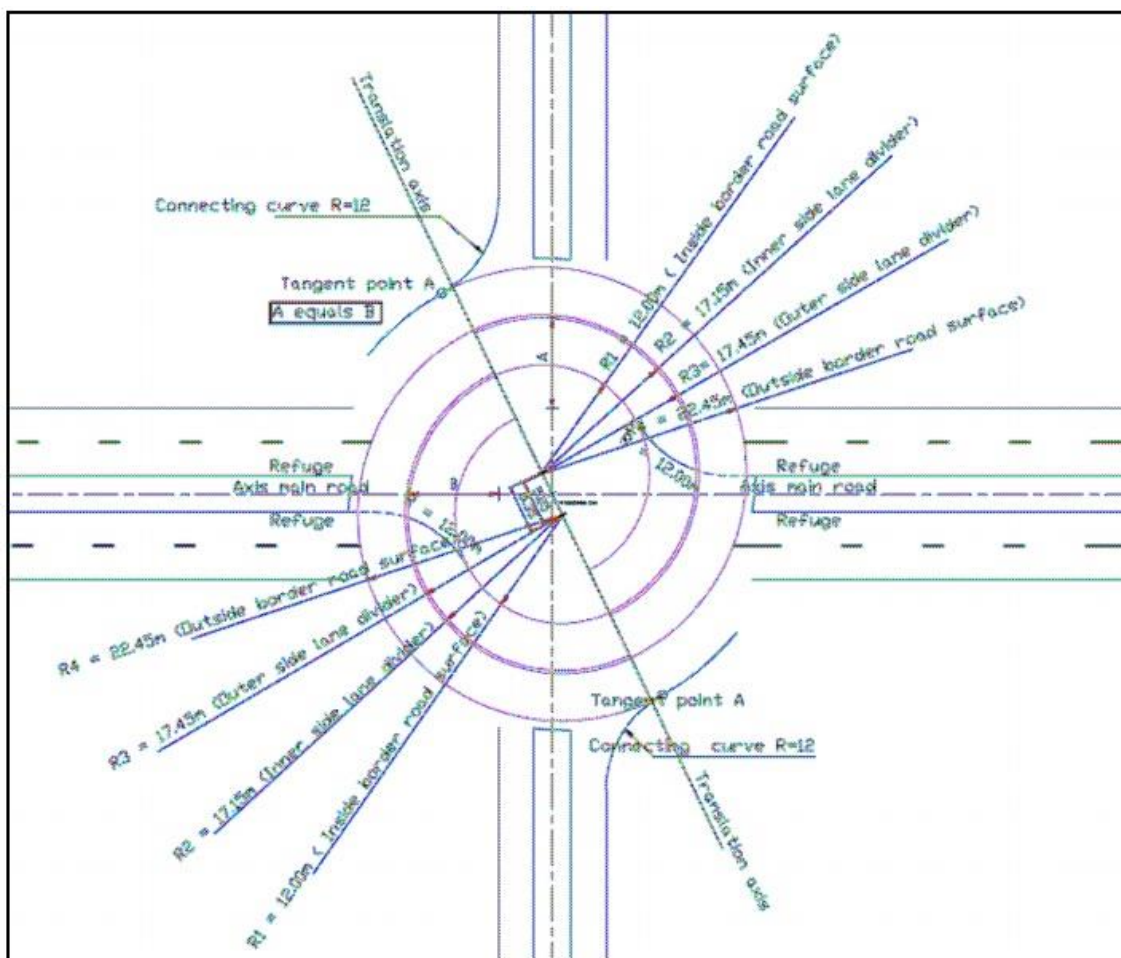


Figura 46: Comprobación de posicionamiento del eje y el centro de traducción global.

Paso5: 'puesta a punto' la posición del eje de la traducción: punto de tangencia A, donde la curva interna de los carriles de entrada se conecta a la curva exterior del carril exterior de la rotonda, se deben colocar después el eje de traducción.

11.2. CARRILES

11.2.1. DIMENSIONES

Los carriles existentes, anteriormente a la rotonda, son de 3,5 metros cada uno, según el proyecto de liquidación facilitado por el Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza, y de 4 metros para cada uno de los carriles que conforman la rotonda. Esta anchura se considera suficiente para el radio de giro que se propone para la construcción de la turbo rotonda.

Este ancho también permite el tránsito del autobús urbano por la turbo rotonda, así como de vehículos pesados, pudiendo llegar a rebasar las canalizaciones centrales si fuese necesario, aunque según se indica en el informe de tráfico, no circulan apenas vehículos pesados a las horas mayor tráfico.

Según la configuración de la turbo rotonda propuesta, sólo habrá 2 zonas donde existan 3 carriles juntos, en el tramo de salida de Puerto Venecia a la Z-40 y del tramo de la salida de Z-40 a la Z-30 (ver plano de diseño geométrico en planta).

Los demás tramos tendrán 2 carriles, excepto el tramo entre la entrada y la salida a Puerto Venecia. Por lo tanto, podrán ampliarse los anchos en los lugares que así se precisen, restando la dimensión a la isleta central, que llegará a superar los 60 metros de diámetro actual.

11.2.2. SEPARADORES VIALES

Para el interior de la turbo rotonda, se piensa que no sólo vale con marcar las líneas continuas para que los conductores no incumplan uno de los propósitos fundamentales de las turbo rotondas, prohibido cambiarse de carril. Para ello, se proponen diferentes opciones de separaciones viales, tal y como lo vemos en el día a día con la separación de carriles bici o en carriles bus en ocasiones.

El tipo de separador tiene que cumplir la función de obligar a los conductores a seguir su camino, previamente escogido, y no tentar a un cambio de carril para no provocar de esta manera un accidente.

En cuanto a las especificaciones del separador, existen muchos tipos en el mercado. Se propone en primer lugar un separador de caucho, de una altura aproximada de 10 cm, de manera que no sea sencillo superarlo, pero que no ocasionen un riesgo para los neumáticos del vehículo en caso de un roce accidental con el mismo, haciendo así, que no ocurran pinchazos en la calzada, menos aún dentro de la turbo rotonda.

Otra opción podría ser los separadores de hormigón, cuya forma debería ser suave para que no ocurran estos sucesos de roces accidentales con consecuencias ya mencionados anteriormente.

Debido al alto coste del material, la dificultad de su forma, adosado a la carretera, etc., el separador de caucho parece la mejor opción ya que, además, ese color amarillo típico de los separadores de caucho que hay en el mercado los hace perfectos para que los conductores los observen mucho antes de encontrarse con ellos.



Figura 47: Ejemplo de canalización dentro de una turbo rotonda.

Fuente: <http://www.coet.es/>

Es posible también, colocar separadores justo antes de la línea de ceda el paso de las turbo rotondas, para que no hubiesen problemas de cruces en las inmediaciones de la turbo rotonda. La longitud mínima sería de unos 15 - 20 metros, de manera que se pudiera observar con antelación.

Otra forma de separar los carriles previamente a la intersección podría ser la pintura sobre el terreno, aunque es menos llamativo.

También es recomendable la colocación de captafaros o leds en los separadores de carril para las horas en las que ya no son tan visibles.



Figura 48: Ejemplo de canalización de piedra y canalización rígida iluminada.

Fuente: Ministry of Transport, Public Works and Water management. Roundabouts - Application and design. A practical manual.

11.3. SEÑALIZACIÓN

11.3.1. SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

Para este nuevo modelo de rotonda, no es compatible la señalización estándar, puesto que puede ser un problema a la hora de incorporarse a la misma.

En las turbo rotondas, una de las características que las hacen únicas, son las señalizaciones horizontales, que dibujan el diámetro exterior de la rotonda y a continuación señala su/s salida/s.

La señalización horizontal debe ser clara y sencilla, de manera que el objetivo de incorporarse al carril correcto antes de la llegada a la intersección sea lo más rápidamente posible.

En cuanto a la normativa para plasmar la señalización horizontal, no existe ninguna norma o reglamento que postule medidas con las que llevarlas a cabo. Se ha intentado adaptar a las medidas perimetrales de anchos y largos máximos a la señalización horizontal de España para velocidades iguales o inferiores a 60 km/h, que hace referencia la Norma 8.2 – IC “Marca Viales”.

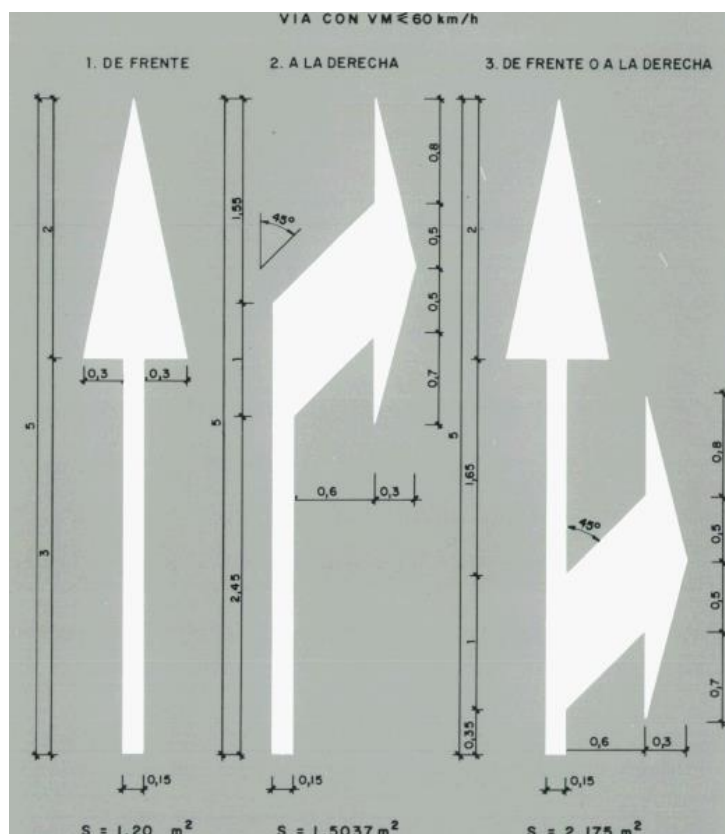


Figura 49: Acotación de señalización horizontal

Fuente: Norma 8.2 – IC “Marca Viales”.

Al intentar seguir la normativa en cuanto al dibujo de las flechas, se observó que era incompatible con el dibujo del diámetro que se debe de dibujar, por lo tanto, se respetarán esas medidas perimetrales, pero el diseño de las flechas no serán las mismas.

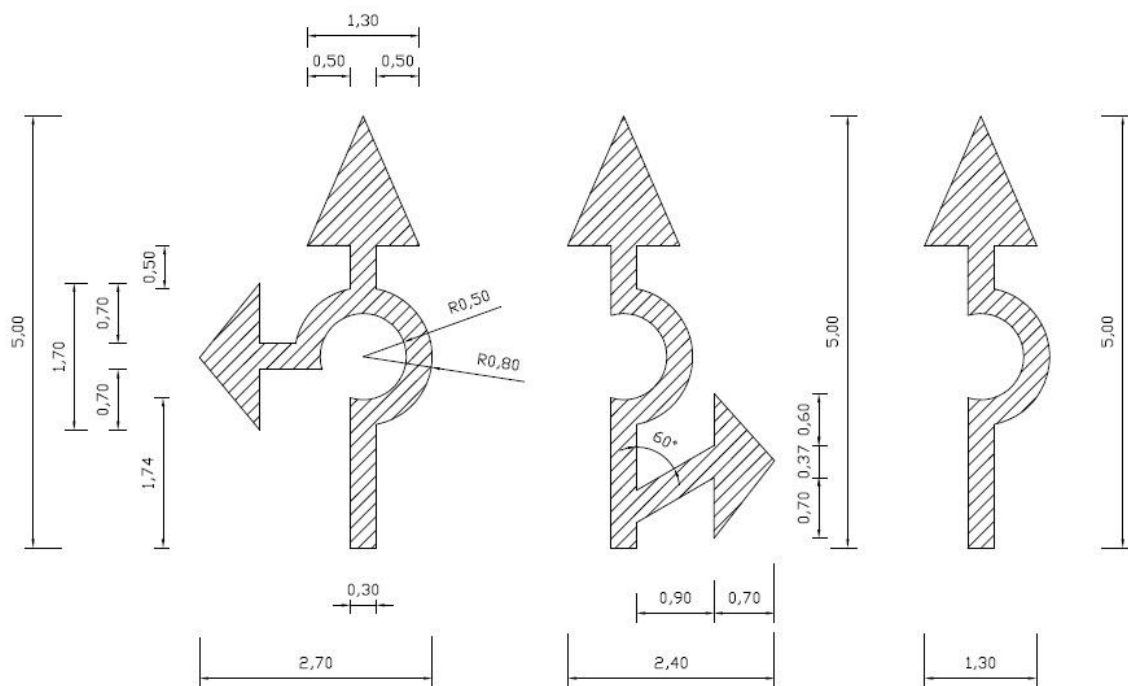


Figura 50: Acotación de señalización horizontal para turbo rotondas.

Fuente: Elaboración propia

Las nuevas señales respetan el largo de las señales que indica la normativa, aunque debido a la disposición del diámetro de la rotonda que se dibuja no es posible respetar la misma anchura de éstas.

LOCALIZACIÓN DE SEÑALES HORIZONTALES

En la entrada a la turbo rotonda, desde la Av. Puerto Venecia (desde el barrio Parque Venecia), se eliminarán las señales existentes y se reemplazarán todas ellas por las nuevas señalizaciones, según se disponga en su carril correspondiente.

A la entrada por la rotonda adyacente, de la Z-40, se dispondrá de 3 señales horizontales para carril. El lugar de su incorporación estará plasmado en el plano de diseño geométrico, puesto que no existe actualmente señalización horizontal de dirección.

Por último, la entrada a la turbo rotonda, que sale del centro comercial, se reemplazarán las señales existentes por las nuevas y se incorporará posteriormente al último paso de cebra antes de llegar a la intersección.

11.3.2. SEÑALIZACIÓN VERTICAL

La señalización vertical también es necesaria para la correcta toma de decisiones que deben tener los conductores antes de llegar a la intersección.

Actualmente, existen señalizaciones de ceda el paso, paso de peatones, glorieta, pequeños carteles en los laterales de la calzada y grandes carteles sobre la calzada apoyados sobre un pórtico.

Las señales verticales de ceda el paso y paso de peatones no se verán modificadas puesto que no se va a cambiar nada en ese sentido. Las señales situadas en los laterales de la calzada tampoco se verán modificadas puesto que no representan una indicación explícita de qué carriles deben elegir los conductores, sino que indican, a grandes rasgos, donde se sitúan las diferentes salidas y el centro comercial.



Figura 51: Señales verticales ubicadas en el punto de estudio
Fuente: MOPT. Señales verticales de circulación



Figura 52: Señal vertical de direcciones en salida de Puerto Venecia.
Fuente: Google Maps

La única señales vertical que se modificará, será la que se sitúa en el pórtico, debido a que ésta sí que indica explícitamente, mediante flechas de dirección, donde deben situarse los conductores para entrar a la rotonda dependiendo su destino.



Figura 53: Señal vertical de direcciones en acceso a rotonda de Puerto Venecia
Fuente: Google Maps

PREDIMENSIONAMIENTO

Para la nueva señalización vertical se modificará en 3 carteles independientes, en vez de los 2 que hay actualmente. El lugar de implantación será el mismo.



Figura 54: Señales verticales de direcciones en acceso a rotonda de Puerto Venecia propuesta
Fuente: Elaboración propia

12. CONCLUSIONES

El estudio de implantación de una turbo rotonda en la actual rotonda de Puerto Venecia conlleva las siguientes conclusiones:

- Reducción de los tiempos de espera en las inmediaciones del centro comercial, por lo tanto, el tiempo necesario para llegar y salir a Puerto Venecia será menor que con la configuración actual, tanto como para el tráfico punta como para un tráfico menos denso.
- La cantidad de vehículos que puede soportar la turbo rotonda es mayor que la que admite la rotonda actual. Incluso aprovechando todos los carriles, gracias a la Policía Local, la turbo rotonda tiene mayor capacidad.
- Se han reducido en 21 los puntos de conflicto que se ocasionan en este tipo de intersecciones, de 31 a 10. Con la turbo rotonda, los peligros de entrecruzamiento y de salida son imposibles, quedando únicamente el peligro de la entrada a la intersección.
- La inversión económica prevista para realizar dicha transformación es de 37,819.07€, mucho menor que la alternativa propuesta de construir un nuevo acceso sobre la rotonda de la Z-40.

13. BIBLIOGRAFÍA

Fortuijn, L. G. H. & Harte, V. F. (1997). *Multi-lane roundabouts: exploring new models*. Traffic Engineering Working Days, CROW, Ed.

Fortuijn, L. G. H. (2009b). *Turbo Roundabouts: Estimation of Capacity*. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.

Brilon, W. (2008). *Turbo-Roundabout - An experience from Germany*. In Transportation Research Board.

Ministerio de Transporte, Obras Públicas y Administración del agua de Holanda. (2009) *Glorietas - Aplicación y diseño, un manual práctico*.

D.Sc. Tomaž TOLLAZZI, Full Professor. *Planning and Designing of the Turbo Roundabouts*. INVITED LECTURES

MOPU. (1989). *Recomendaciones sobre glorietas*

Catálogo de Experiencias de Seguridad Vial Urbana en España (2011)

J.C. Engelsman and M. Uken. (SATC 2007). *TURBO ROUNDABOUTS AS AN ALTERNATIVE TO TWO LANE ROUNDABOUTS*. Proceedings of the 26th Southern African Transport Conference

Bill Baranowski. (2014). *Roundabouts Located Near Traffic Signals*. Baranowski Paper RoundaboutsUSA.

Ana L. Olona. (2014). *Las "turbo rotondas" y su repercusión en la Seguridad Vial*.

<http://www.dirkdebaan.nl/locaties.html>

<http://www.vectio.es/es/innovacion/turboglorietas.html>

Fortuijn, Lambertus. (2009a). *Turbo Roundabouts. Design principles and safety performance*.

Prof. dr. Tomaž Tollazzi, Dr. Marko Renčelj. *Turbo roundabouts in Slovenia – State of the art*.

| |
|---------------|
| ANEXOS |
|---------------|

ANEXO 1

CATÁLOGO Y MAPA DE TURBO ROTONDAS

| Aantal van Locatie | | Vorm turbo | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------------|-------------|---------------------|----------|---------------------------------|--------------------------|--------------|---------------------|------------------------|--------------|-------------------------|------------|
| Land | Plaatsnaam | ei- rotonde | knierotonde | look- a- like | onbekend | ovonde (mettur- bokenmerken) | partiële turborotonde | rotorrotonde | spiraal- rotonde | turbokluif- rotonde | turborotonde | turbover- keersplein | Eindtotaal |
| Aruba | Oranjestad | 2 | | | | | | | 1 | | | | 3 |
| | Pos Chikitu | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| België | Gent | | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| Duitsland | Achern | | | | | | | | | | 2 | | 2 |
| | Altenhundem | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| | Baden-Baden / Badenscheuern | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| | Bingen am Rhein - Rheinland-Pfälz | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| | Cottbus 3042 | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| | Offenburg | | | 1 | | | | | | | | | 1 |
| | Zweibrücken | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | Göppingen | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| | Weringerode | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| | Lennestadt | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| Totaal Duitsland | | 3 | | 1 | | | 4 | | | | 3 | | 11 |
| Estland / Estonia | Uuemosia | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| | Tiskre | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Totaal Estland / Estonia | | 2 | | | | | | | | | 1 | | 3 |
| Hongarije | Érd | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| | Győr | | | | | | | | | | | 1 | 1 |
| | Hódmezővásárhely | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| | Kecskemét | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | Szeged | | | 1 | | | | | | 1 | | | 2 |
| | Szöke | | | | 1 | | | | | | | | 1 |
| | Szolnok | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | Zalaegerszeg | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| Totaal Hongarije | | 2 | | 1 | 1 | | 1 | | | 1 | 2 | 1 | 9 |
| | Siauliai | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| Totaal Litouwen | | 2 | | | | | | | | | | | 2 |
| Nederland | Aalsmeer | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| | Alkemade | | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| | Almere | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | | | 1 | | 5 |
| | Almere-Buiten | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| | Almere-Haven | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | Amersfoort | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | 3 |
| | Amsterdam | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | Arnhem | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| | Baam | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | Barendrecht | 1 | | 2 | | | 1 | | | | | | 4 |
| | Barneveld | | 1 | | | | | | | | | | 1 |

ANEXO 1

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---|---|---|--|--|---|--|---|---|---|--|---|
| Beneden-Leeuwen | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Beneden-Leeuwen / Puiflijk | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Bergschenhoek | 1 | | | | | 1 | | | | 1 | | 3 |
| Berkel en Roden-rijs | | 1 | | | | | | | | 1 | | 2 |
| Berkel-Enschot | | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| Beverwijk | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| Bodegraven | | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| Borssele | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| Boskoop | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| Boxmeer | 1 | | | | | | | | | 1 | | 2 |
| Boxtel | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| Brielle | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| Bruinisse (Schouwen-Duiveland) | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| Castricum | | | 1 | | | | | | | | | 1 |
| Cothen / Wijk bij Duurstede | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| De Lier | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| De Meern | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Delfgauw | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Den Helder | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | 3 |
| Doesburg | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| Dongen | | 1 | | | | | | | | 1 | | 2 |
| Duiven | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| Eersel | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| Eindhoven | 1 | 1 | 2 | | | | | | 1 | | | 5 |
| Emmen | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Geldrop | | 1 | | | | | | | | 2 | | 3 |
| Geleen | | | 1 | | | 1 | | | | | | 2 |
| Gouda | 2 | | | | | | | | | 2 | | 4 |
| Groningen | | | | | | 2 | | | 2 | | | 4 |
| Harderwijk | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| Hazerswoude | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| Heerhugowaard | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | 3 |
| Heerlen | 1 | 2 | 1 | | | 1 | | 3 | | 1 | | 9 |
| Hellevoetsluis | | | | | | | | | | 3 | | 3 |
| Helmond | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Hengelo | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| Hilvarenbeek | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Hilversum | 1 | 2 | | | | 2 | | | | | | 5 |
| Hoofddorp | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| Hoogerheide - Woensdrecht | | | | | | | | | | 2 | | 2 |
| Hoogeveen | | | | | | | | | 1 | | | 1 |

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|----|
| Hoon - Overvecht | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| Houten | 3 | 1 | | | | 1 | | | | 1 | 6 |
| Kampen | 1 | 2 | | | | | | | | | 3 |
| Katwijk | 1 | | | | | 1 | | | | | 2 |
| Krimpen aan de Lek | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Krimpen aan den Lek | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Landgraaf | | | 3 | | | | | | 1 | | 4 |
| Leeuwarden | 1 | 3 | | | | | | | 1 | | 5 |
| Leiden | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| Leiderdorp | | 1 | | | 1 | | | | 3 | | 5 |
| Lekkerkerk | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| Lelystad | 9 | 2 | | | | | | | 3 | | 14 |
| Lierop (Somerens) | 1 | 1 | | | | | | | | | 2 |
| Lisse | 1 | | | | | 2 | | | | | 3 |
| Maarsbergen | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| Maasdam | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| Maasland | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| Maassluis | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| Meerkerk | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| Middelburg | | 1 | | | | | | | | | 1 |
| Monster | | | | | | 1 | | | | | 1 |
| Montfoort / Linschoten | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| Naaldwijk | | | | | | | | | 1 | 1 | 2 |
| Nederhorst den Berg | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| Nieuwerkerk aan den IJssel | | 1 | | | | | | | 2 | | 3 |
| Nijkerk | | 1 | | | | | | | 1 | | 2 |
| Nijswiller | | | 1 | | | | | | | | 1 |
| Noordwijk | | | | | | | | 1 | 1 | | 2 |
| Nuenen | 1 | | | | 1 | 1 | | | 1 | | 4 |
| Oldenzaal | 3 | | | | | | | | | | 3 |
| Ommen | | | 1 | | | | | | | | 1 |
| Oostvoorne | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| Oud-Beijerland | 2 | | | | | | | | 1 | | 3 |
| Papendrecht | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| Pijnacker | 1 | | | | | | | | 1 | 1 | 3 |
| Purmerend | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| Reeuwijk | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Rhenen / Veenendaal | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Rijssen | 1 | 1 | | | | | | | 1 | | 3 |
| Roermond | | | | | | 2 | | | | | 2 |
| Roosendaal | 1 | 1 | | | | | | | | | 2 |
| Rosmalen | | | | | | | 1 | 1 | | | 2 |

ANEXO 1

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|--|--|---|--|---|--|---|---|---|
| Rotterdam | | | | | | | | | | 1 | 1 | 2 |
| 's Gravenpolder | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| Sassenheim | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| Schelluinen | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Schelluinen (Giesselanden) | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| Schiedam | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Schoorl | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| Sevenum | 1 | 1 | | | | 1 | | | | | | 3 |
| 's-Hertogenbosch | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| Sint Anthonis | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Sittard-Geleen | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Sneek | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| Soest | | | 1 | | | | | | | | | 1 |
| Soesterberg | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| Spijkenisse | 2 | | | | | | | | | 1 | | 3 |
| Stichtse Vecht | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| Uden | | | | | | | | | | 5 | | 5 |
| Veghel | | 1 | | | | | | | | 1 | | 2 |
| Vianen | | | | | | 2 | | | | | | 2 |
| Waalwijk | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| Waddinxveen | 1 | 1 | | | | | | | | | | 2 |
| Wanpenneveer (gem. Brederwiede) | | | 1 | | | | | | | | | 1 |
| Weert | | | | | | | | 1 | | | | 1 |
| Weeze | 2 | | | | | | | | | | | 2 |
| Wierden | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| Wijchen | 1 | | | | | | | | | 1 | | 2 |
| Zeewolde | | | 1 | | | | | | | | | 1 |
| Zeewolde - harderhaven | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Zevenbergen | | | | | | | | | | 2 | | 2 |
| Zevenhuizen | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| Zijderveld (Vianen) | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| Zoetermeer | 1 | | | | | | | | | 1 | | 2 |
| Zwaagwesteinde | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Zwijndrecht | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| Zwijndrecht / Hendrik Ido Ambacht | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| Bergambacht | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| Arcen | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Hulst | | 2 | | | | | | | | | | 2 |
| Drunen | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| Amstelveen | | | | | | | | 1 | | 1 | | 2 |
| Jacobswoude / Leimuiden | 1 | | | | | | | | | | | 1 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| | Leende | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| | Alphen aan den Rijn | | 1 | | | | | | | | | 1 |
| | Assen | | | | | | | 1 | | | | 1 |
| | Biervliet | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| | Harderberg | | | 1 | | | | | | | | 1 |
| | Montfoort | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| | Muntendam | | 1 | | | | | | | | | 1 |
| | Sint-Michielsgestel | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | Veendam | | | | | | | | | 2 | | 2 |
| | Zeist / Den Dolder | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| | Drachten | | | | | | | | | 2 | | 2 |
| | Hoek | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| | Leeuwarden / Wirdum | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| | Oegstgeest | | | | | | 1 | | | | | 1 |
| | Roelofarendsveen | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | Roelofsarendsveen | | 1 | | | | | | | | | 1 |
| | Sint Michelsgestel | | | | 1 | | | | | | | 1 |
| | Venlo | | | | | 2 | | | | | | 2 |
| | Zutphen | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | Susteren | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | Etten-Leur | | | | | | 1 | | | 1 | | 2 |
| | Mijdrecht | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | Steenbergen | 2 | | | | | | | | | | 2 |
| Oostenrijk | Zell-am-See | | | 1 | | | | | | | | 1 |
| | Bruck an der Mur (Steirmark) | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Totaal Oostenrijk | | | | 1 | | | | | | 1 | | 2 |
| Polen | Plocku | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| | Chorzów | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | Dabrowa (Poznan) | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| | Elk | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| | Kielce | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| | Lublin | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | Opole - Nisa / Pradach / Dabrowa | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | Przeźmierowie (Poznan) | 1 | | | | | | | | 1 | | 2 |
| | Ruda Slaska | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| | Stalowej Woli | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| | Zory | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | Gdańsk | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Totaal Polen | | 6 | | 2 | | | 1 | | 1 | 2 | 10 | 22 |
| Roemenië | Sibiu | 2 | | | | | | | | | 1 | 3 |

ANEXO 1

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------|-----|----|----|---|---|----|---|----|----|-----|----|-----|
| Totaal Roemenië | | 2 | | | | | | | | 1 | | 3 | |
| Slovenië | Koper | 1 | 2 | | | | | | | 4 | | 7 | |
| | Maribor | 1 | | | | 1 | | | | 2 | | 4 | |
| Totaal Slovenië | | 2 | 2 | | | 1 | | | | 6 | | 11 | |
| Spanje | Grado | | | 1 | | | | | | | | 1 | |
| Totaal Spanje | | | | 1 | | | | | | | | 1 | |
| USA | Mesa (Phoenix) | | | 2 | | | | | | | | 2 | |
| | Phoenix | | | 1 | | | | | | | | 1 | |
| Totaal USA | | | | 3 | | | | | | | | 3 | |
| Zuid-Afrika | Ongoye | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| Totaal Zuid-Afrika | | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| Canada | Welland | | | 1 | | | | | | | | 1 | |
| | Victoria | | 1 | | | | | | | | | 1 | |
| Totaal Canada | | | 1 | 1 | | | | | | | | 2 | |
| Czech Republic | Brno | 2 | | | | | | | | 1 | | 3 | |
| | Budejovice / Budějčáky | 1 | | | | | | 1 | | | | 2 | |
| | Modřice (Brno) | | | 1 | | | | | | | | 1 | |
| | Olomouc | | 1 | | | | | | | 1 | | 2 | |
| | Beroun | | | | | 1 | | | | | | 1 | |
| | Pardubice | | | | | | | | | 1 | | 1 | |
| | Prostějov | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| Totaal Czech Republic | | 3 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 3 | | 11 | |
| Kroatië / Croatia | Osijek / Višnjevac | 1 | | | | | | | | | | 1 | |
| Totaal Kroatië / Croatia | | 1 | | | | | | | | | | 1 | |
| Macedo-nië | Skopje | | | | | | | | | 1 | | 1 | |
| Totaal Macedonië | | | | | | | | | | 1 | | 1 | |
| Bosnia and Herzegovina | Tuzlanski | 1 | | | | | | | | | | 1 | |
| Totaal Bosnia and Herzegovina | | 1 | | | | | | | | | | 1 | |
| Eindtotaal | | 100 | 50 | 27 | 2 | 9 | 40 | 2 | 10 | 18 | 109 | 4 | 371 |

Tabla 9: Turbo rotondas por países

Fuente: <http://www.dirkdebaan.nl/locaties.html>

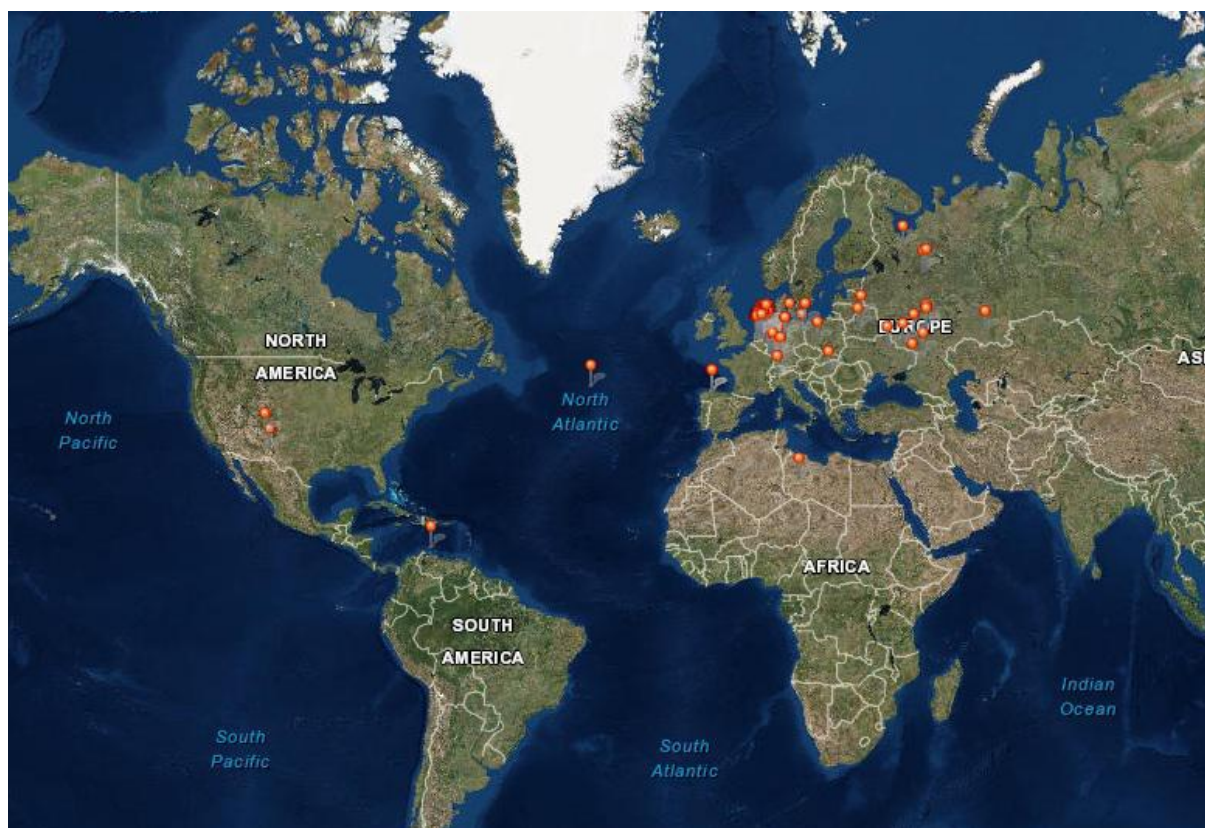


Figura 55: Situación de turbo rotondas en el mundo.
Fuente: <http://www.dirkdebaan.nl/locaties.html>

ANEXO 2

DISEÑO EN PLANTA



ANEXO 3

MODELIZACIÓN DE TRÁFICO

3.1 GEOMETRÍA

En las siguientes figuras se muestran las geometrías referentes a la glorieta actual y la turbo rotonda propuesta. Ambos diseños han sido realizados por el programa PTV VISIM.

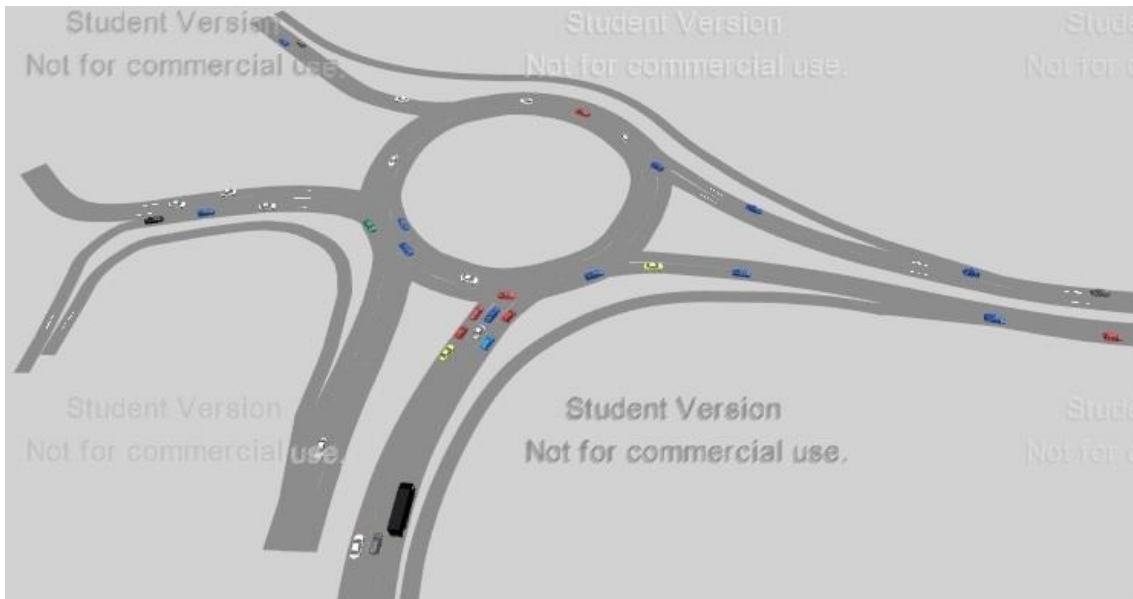


Figura 56: Geometría modelizada de la glorieta actual
Fuente: Elaboración propia

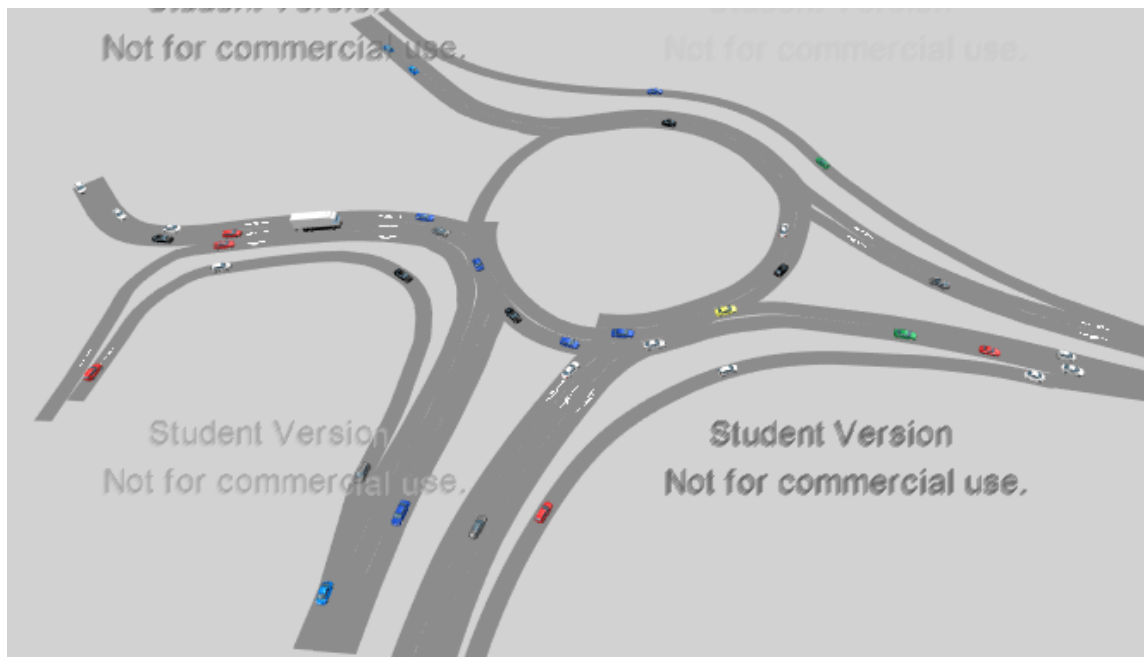


Figura 57: Geometría modelizada de la turbo rotonda propuesta
Fuente: Elaboración propia

3.2 DEFINICIÓN DE DATOS DE LA SIMULACIÓN

- REGLAS DE PRIORIDAD

Para la simulación correcta y real del tráfico se han tenido que introducir una serie de reglas de prioridad de paso, elemento imprescindible en la intersecciones no semaforizadas.

Sabiendo que sólo es posible la salida de la glorieta por su carril más exterior, todos aquellos vehículos que circulen por los carriles interiores, deberán ir incorporándose gradualmente hacia éste carril exterior para poder de manera legal para no producir entrecruzamientos dentro de la rotonda.

La incorporación de las glorietas convencionales tienen el “problema” de que se debe ceder el paso a todos los vehículos que hay en ella, viniendo desde el carril que sea, debido a que en cualquier momento el conductor que circula por uno de estos carriles, puede cambiar de un carril más interior a uno más exterior para realizar la maniobra de abandono de la glorieta, tal y como antes se ha citado.

A continuación se muestra una figura con las reglas de prioridad existentes en todos los carriles que así lo necesiten. En rojo se indican las líneas de detención de los vehículos que tienen que dar preferencia a vehículos que circulen por los carriles anexos, indicado con una línea verde (preferencia).

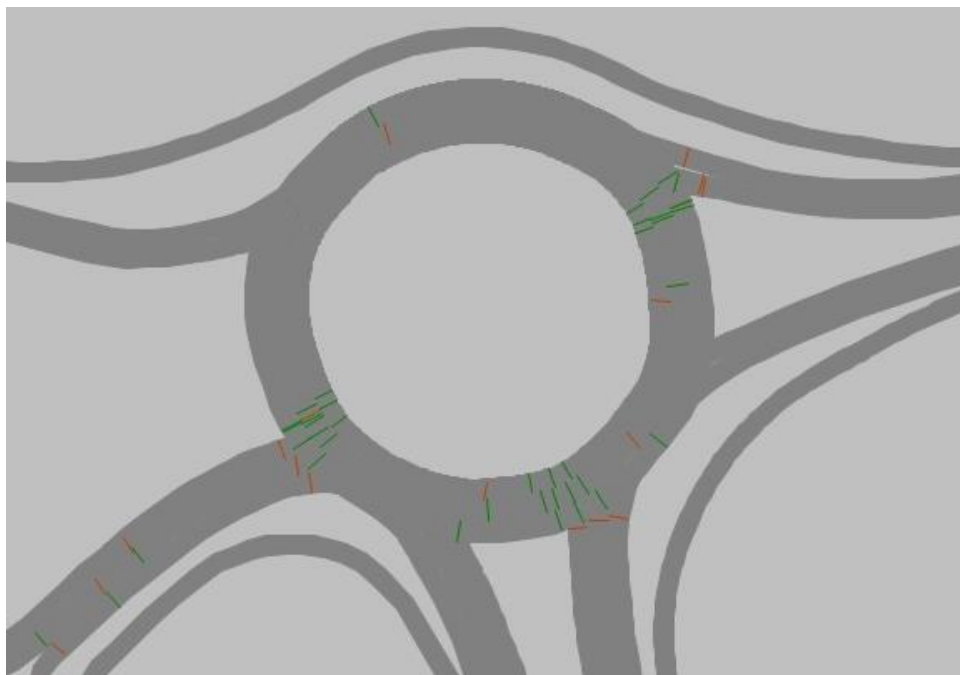


Figura 58: Reglas de prioridad glorieta actual
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 3

En la siguiente figura, se muestra la diferencia que existe con una turbo rotonda. Destaca por el número tan inferior de líneas tanto de detención como de preferencia. Esto se debe a que la gran ventaja de las turbo rotondas radica en la "limitación de flujos direccionales", es decir, no es posible cambiar de carril dentro de la rotonda, luego sólo se tiene que ceder el paso al carril al que te vas a incorporar y/o carriles que te encuentres hasta llegar al carril deseado.

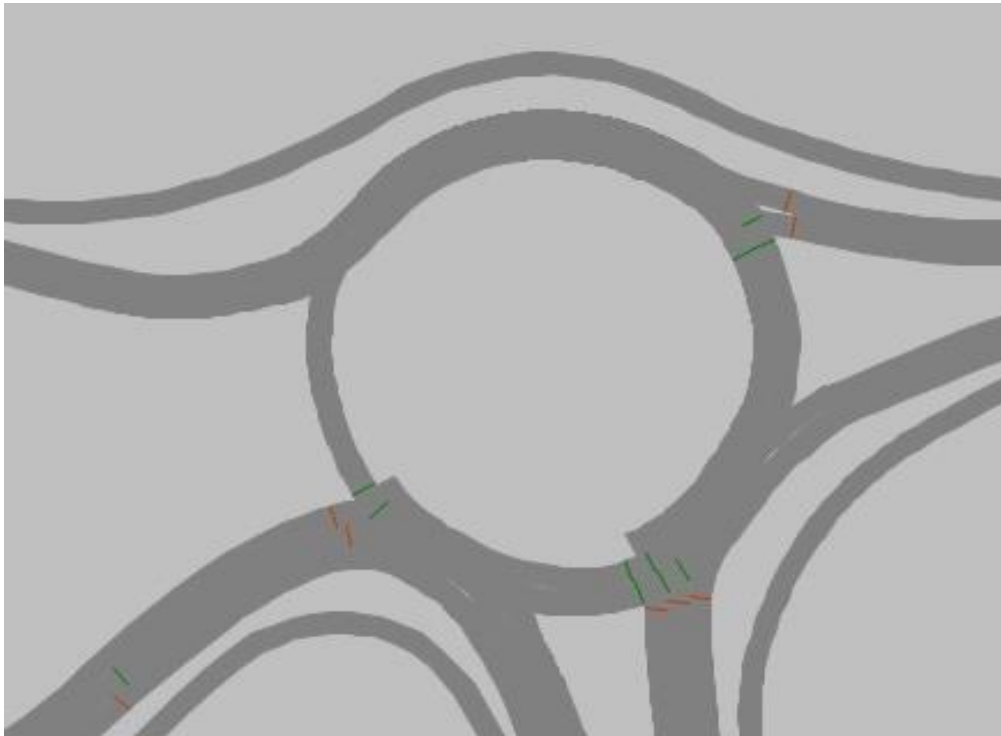


Figura 59: Reglas de prioridad de la turbo rotonda propuesta
Fuente: Elaboración propia

- VELOCIDADES

Ambas situaciones tienen ramales de acceso con velocidades máximas de 50 km/h, donde tendrán que reducir sus velocidades a la adecuada para circular por la intersección, e incluso detenerse en caso de dar prioridad a otros vehículos.

Para abordar la simulación, se han colocado en las proximidades de las intersecciones unos limitadores para que, progresivamente, los vehículos vayan decelerando hasta la velocidad de 25 km/h. La velocidad puede ser mucho mayor o menor dependiendo del conductor, situación climatológica, retenciones, etc, pero esa velocidad, para ambas situaciones de la simulación ha sido adoptada para poder realizar la comparativa.

A) TRÁFICO PUNTA

Dado que se pretende realizar la comparación de tráfico, lo más real y parecida posible, se han introducido para cada uno de los accesos a la intersección, el mismo volumen de vehículos y rutas.

Al introducir el mismo volumen de vehículos para el tráfico punta, la simulación mostró, tanto en la rotonda actual como en la turbo rotonda, largas retenciones en todos los accesos, llegando a poder simular en la rotonda actual un máximo de 4.761 vehículos por hora, mientras que en la turbo rotonda se pueden llegar a simular 5.841 vehículos por hora. Si el número de vehículos que figura en el estudio de tráfico es de 5.656 vehículos por hora, quiere decir que:

- Al realizar la simulación de la turbo rotonda, ésta admite a más vehículos en una hora que la configuración actual.
- Que siendo datos reales 5.656 vehículos por hora de tráfico punta, podremos deducir que la rotonda actual puede soportar este tráfico en cuanto los agentes de tráfico reconfiguran la distribución de carriles, como viene siendo común, en los días de mayor tráfico, o que no se está realizando la conducción de la manera adecuada (entrecruzamiento de carriles desde un carril interior hasta una salida).

ANEXO 3

| Nº | LINK | VOLUMEN | VEH COMPOSICION |
|----|---------|---------|-----------------|
| 1 | Z-30 1 | 1300 | 1: Default |
| 2 | Z-30 2 | 1200 | 1: Default |
| 3 | Z-40 17 | 1000 | 1: Default |
| 4 | Z-40 16 | 800 | 1: Default |
| 5 | Z-40 15 | 200 | 1: Default |
| 6 | PV 11 | 1000 | 1: Default |
| 7 | PV 10 | 800 | 1: Default |
| 8 | PV 9 | 800 | 1: Default |
| 9 | PV 8 | 600 | 1: Default |

Tabla 10: Volumen de vehículos punta de la rotonda actual simulados
Fuente: Elaboración propia

| Nº | LINK | VOLUMEN | VEH COMPOSICION |
|----|---------|---------|-----------------|
| 1 | Z-30 1 | 1300 | 1: Default |
| 2 | Z-30 2 | 1200 | 1: Default |
| 3 | Z-40 17 | 200 | 1: Default |
| 4 | Z-40 16 | 1000 | 1: Default |
| 5 | Z-40 15 | 800 | 1: Default |
| 6 | PV 11 | 1000 | 1: Default |
| 7 | PV 10 | 800 | 1: Default |
| 8 | PV 9 | 800 | 1: Default |
| 9 | PV 8 | 600 | 1: Default |

Tabla 11: Volumen de vehículos punta de la turbo rotonda simulados
Fuente: Elaboración propia

En la simulación, la composición de vehículos (1:Default) corresponde a automóviles y autobuses, estos último en menor proporción que los automóviles.

Esta relación de volumen establecido para los diferentes accesos a la rotonda, no coinciden con la situación real de un día medio, pero sí que se aproxima a la situación real de las horas punta, 18:30 a 19:30 de un fin de semana, donde los flujos de tráfico son en dirección entrada al centro comercial, desde la Z-30 y Z-40 y de salida del centro comercial hacia dichas carreteras.

• ANÁLISIS DE RESULTADOS

De forma comparativa, se plasman las siguientes tablas correspondientes a la glorieta actual y a la turbo rotonda en lo que se refiere a la cantidad de paradas realizadas en los distintos carriles debido a la espera en la proximidad de la rotonda.

La numeración de carriles son, de carril derecho a izquierdo: Z-30 (1-2), Z-40 (3- 4-5) y Puerto Venecia (6-7-8).

| INTERVALO DE TIEMPO (seg) | CARRIL | COLA MÁX (m) | STOPS |
|---------------------------|--------|--------------|-------|
| 20-600 | 1 | 185,02 | 80 |
| 20-600 | 2 | 189,79 | 177 |
| 20-600 | 3 | 97,08 | 50 |
| 20-600 | 4 | 97,82 | 45 |
| 20-600 | 5 | 35,08 | 34 |
| 20-600 | 6 | 18,07 | 11 |
| 20-600 | 7 | 106,07 | 92 |
| 20-600 | 8 | 0,00 | 0 |

Tabla 12: Retenciones en carriles punta de la rotonda actual
Fuente: Elaboración propia

| INTERVALO DE TIEMPO (seg) | CARRIL | COLA MÁX (m) | STOPS |
|---------------------------|--------|--------------|-------|
| 20-600 | 1 | 20,78 | 18 |
| 20-600 | 2 | 64,77 | 68 |
| 20-600 | 3 | 7,51 | 2 |
| 20-600 | 4 | 97,36 | 79 |
| 20-600 | 5 | 97,48 | 77 |
| 20-600 | 6 | 0,00 | 0 |
| 20-600 | 7 | 8,08 | 9 |
| 20-600 | 8 | 8,38 | 4 |

Tabla 13: Retenciones en carriles punta de la turbo rotonda
Fuente: Elaboración propia

En la mayoría de los carriles se ve reducido el número de retenciones y número de paradas. Esto no ocurre así en los carriles 4 y 5, pertenecientes al acceso de la Z-40. Esto se debe a que sólo existen 2 carriles de acceso de la Z-40 a Puerto Venecia mientras que la rotonda actual tiene 3 carriles. La otra causa se debe al comportamiento de los conductores, que en su deseo de coger el carril directo, para evitar en-

ANEXO 3

trecruzamientos, dentro de la rotonda actual, suelen circular por el carril más externo (carril 3) dejando a los carriles restante (carril 4 y 5) con una menor ocupación.

En las siguientes tablas se muestran los tiempos promedios que necesitan los vehículos en recorrer las rutas preestablecidas:

| INTERVALO DE TIEMPO (seg) | TRAMO | VEHÍCULOS | TIEMPO DE TRAYECTO (seg) |
|---------------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|
| 20-600 | 1: Z-30 a PV | 65 | 60,45 |
| 20-600 | 2: Z-30 a PV 2 | 70 | 103,66 |
| 20-600 | 3: Z-30 a PV exterior | 144 | 16,93 |
| 20-600 | 4: Z-30 a Z-40 | 15 | 107,89 |
| 20-600 | 5: Z-40 a PV | 25 | 188,64 |
| 20-600 | 6: Z-40 a PV 2 | 19 | 225,64 |
| 20-600 | 7: Z-40 a PV 3 | 30 | 72,28 |
| 20-600 | 8: PV Mc a Z-40 ext | 166 | 19,62 |
| 20-600 | 9: PV Mc a Z-30 | 114 | 29,48 |
| 20-600 | 10: PV a Z-40 | 41 | 37,77 |
| 20-600 | 11: PV a Z-30 | 64 | 53,57 |
| 20-600 | 12: PV a Z-30 2 | 14 | 67,18 |

Tabla 14: Simulación de tiempos de viaje punta en la rotonda actual

Fuente: Elaboración propia

| INTERVALO DE TIEMPO (seg) | TRAMO | VEHÍCULOS | TIEMPO DE TRAYECTO (seg) |
|---------------------------|---------------------|-----------|--------------------------|
| 20-600 | 1: Z-30 a PV | 72 | 34,78 |
| 20-600 | 2: Z-30 a PV2 | 162 | 44,26 |
| 20-600 | 3: Z-30 a PV ext | 151 | 16,37 |
| 20-600 | 4: Z-30 a Z-40 | 17 | 52,45 |
| 20-600 | 5: Z-40 a Z-30 | 3 | 17,85 |
| 20-600 | 6: Z-40 a PV | 40 | 122,61 |
| 20-600 | 7: Z-40 a PV 2 | 38 | 136,73 |
| 20-600 | 8: PV Mc a Z-40 ext | 166 | 19,69 |
| 20-600 | 9: PV Mc a Z-30 | 86 | 50,71 |
| 20-600 | 10: PV a Z-40 | 46 | 20,34 |
| 20-600 | 11: PV a Z-30 | 66 | 28,98 |
| 20-600 | 12: PV a Z-30 2 | 94 | 26,04 |

Tabla 15: Simulación de tiempos de viaje punta en la turbo rotonda

Fuente: Elaboración propia

Todos los tramos, a excepción de "PV Mc a Z-30" resultan mejorados con el nuevo diseño.

Con respecto a los carriles 4 y 5 del acceso por la Z-40 mencionados anteriormente, siendo mayores sus números de paradas y longitud de cola máxima, se aprecia que los tiempos de trayecto no son proporcionales a los anteriores. Por tanto, habrá una mayor retención en número de vehículos, pero su fluidez será mayor.

Ante el conjunto de tiempos comparados entre ambos diseños para acceder a la intersección por los ramales Z-30, Z-40 y Puerto Venecia, se han obtenido las siguientes mejoras para un tráfico punta:

| ACCESOS | MEJORA |
|----------------|------------|
| Z-30 | 95% |
| Z-40 | 76% |
| Puerto Venecia | 42% |

Tabla 16: Mejora de tráfico punta por accesos.
Fuente: Elaboración propia.

B) TRÁFICO PUNTA*

- VOLUMEN DE VEHÍCULOS SIMULADOS

Para dotar de otro punto de vista donde la simulación de vehículos sea la misma para la rotonda actual como para la turbo rotonda, se han simulado del orden del 60-65% de los vehículos respecto al tráfico punta visto anteriormente, respetando el mismo flujo direccional para las horas de la tarde en las que acceden vehículos desde los 3 accesos.

Este volumen de vehículos puede darse perfectamente cualquier otro día de la semana en el que se intensifique el tráfico entre las 18:00 a 20:00 horas.

| Nº | LINK | VOLUMEN | VEH COMPOSICION |
|----|---------|---------|-----------------|
| 1 | Z-30 1 | 650 | 1: Default |
| 2 | Z-30 2 | 600 | 1: Default |
| 3 | Z-40 17 | 500 | 1: Default |
| 4 | Z-40 16 | 400 | 1: Default |
| 5 | Z-40 15 | 100 | 1: Default |
| 6 | PV 11 | 500 | 1: Default |
| 7 | PV 10 | 400 | 1: Default |
| 8 | PV 9 | 400 | 1: Default |
| 9 | PV 8 | 300 | 1: Default |

Tabla 17: Volumen de vehículos punta* de la rotonda actual simulados
Fuente: Elaboración propia

| Nº | LINK | VOLUMEN | VEH COMPOSICION |
|----|---------|---------|-----------------|
| 1 | Z-30 1 | 650 | 1: Default |
| 2 | Z-30 2 | 600 | 1: Default |
| 3 | Z-40 17 | 100 | 1: Default |
| 4 | Z-40 16 | 500 | 1: Default |
| 5 | Z-40 15 | 400 | 1: Default |
| 6 | PV 11 | 500 | 1: Default |
| 7 | PV 10 | 400 | 1: Default |
| 8 | PV 9 | 400 | 1: Default |
| 9 | PV 8 | 300 | 1: Default |

Tabla 18: Volumen de vehículos punta* de la turbo rotonda simulados
Fuente: Elaboración propia

- ANÁLISIS DE RESULTADOS

De nuevo se comparan las tablas correspondientes a la glorieta actual y a la turbo rotonda en lo que se refiere a la cantidad de paradas realizadas en los distintos carriles debido a la espera en la proximidad de la rotonda.

| INTERVALO DE TIEMPO (seg) | CARRIL | COLA MÁX (m) | STOPS |
|---------------------------|--------|--------------|-------|
| 20-600 | 1 | 54,14 | 34 |
| 20-600 | 2 | 189,76 | 97 |
| 20-600 | 3 | 97,16 | 113 |
| 20-600 | 4 | 97,65 | 81 |
| 20-600 | 5 | 7,69 | 10 |
| 20-600 | 6 | 6,56 | 2 |
| 20-600 | 7 | 6,83 | 4 |
| 20-600 | 8 | 0 | 0 |

Tabla 19: Retenciones en carriles punta* de la rotonda actual
Fuente: Elaboración propia

| INTERVALO DE TIEMPO (seg) | CARRIL | COLA MÁX (m) | STOPS |
|---------------------------|--------|--------------|-------|
| 20-600 | 1 | 7,77 | 8 |
| 20-600 | 2 | 49,20 | 67 |
| 20-600 | 3 | 0,00 | 0 |
| 20-600 | 4 | 61,22 | 80 |
| 20-600 | 5 | 27,88 | 44 |
| 20-600 | 6 | 0,00 | 0 |
| 20-600 | 7 | 8,31 | 1 |
| 20-600 | 8 | 0,00 | 0 |

Tabla 20: Retenciones en carriles punta* de la turbo rotonda
Fuente: Elaboración propia

En la mayoría de los carriles se ve reducido el número de retenciones y número de paradas. De nuevo ocurre el mismo problema que vimos anteriormente de la nueva distribución de carriles y la afección que esto supone para el carril número 5.

ANEXO 3

En las siguientes tablas se muestran los tiempos promedios que necesitan los vehículos en recorrer las rutas preestablecidas:

| INTERVALO DE TIEMPO (seg) | TRAMO | VEHÍCULOS | TIEMPO DE TRAYECTO (seg) |
|---------------------------|---------------------|-----------|--------------------------|
| 20-600 | 1: Z-30 a PV | 36 | 50,55 |
| 20-600 | 2: Z-30 a PV 2 | 42 | 116,10 |
| 20-600 | 3: Z-30 a PV ext | 74 | 14,23 |
| 20-600 | 4: Z-30 a Z-40 | 10 | 118,52 |
| 20-600 | 5: Z-40 a PV | 60 | 86,63 |
| 20-600 | 6: Z-40 a PV 2 | 48 | 85,61 |
| 20-600 | 7: Z-40 a PV 3 | 17 | 81,24 |
| 20-600 | 8: PV Mc a Z-40 ext | 81 | 16,96 |
| 20-600 | 9: PV Mc a Z-30 | 56 | 26,62 |
| 20-600 | 10: PV a Z-40 | 25 | 18,19 |
| 20-600 | 11: PV a Z-30 | 41 | 31,88 |
| 20-600 | 12: PV a Z-30 2 | 41 | 32,59 |

Tabla 21: Simulación de tiempos de viaje punta* en la rotonda actual
Fuente: Elaboración propia

| INTERVALO DE TIEMPO (seg) | TRAMO | VEHÍCULOS | TIEMPO DE TRAYECTO (seg) |
|---------------------------|---------------------|-----------|--------------------------|
| 20-600 | 1: Z-30 a PV | 36 | 32,13 |
| 20-600 | 2: Z-30 a PV2 | 89 | 40,23 |
| 20-600 | 3: Z-30 a PV ext | 74 | 14,50 |
| 20-600 | 4: Z-30 a Z-40 | 7 | 48,47 |
| 20-600 | 5: Z-40 a Z-30 | 2 | 12,32 |
| 20-600 | 6: Z-40 a PV | 72 | 43,48 |
| 20-600 | 7: Z-40 a PV 2 | 64 | 38,47 |
| 20-600 | 8: PV Mc a Z-40 ext | 81 | 17,15 |
| 20-600 | 9: PV Mc a Z-30 | 56 | 30,26 |
| 20-600 | 10: PV a Z-40 | 29 | 17,91 |
| 20-600 | 11: PV a Z-30 | 36 | 26,07 |
| 20-600 | 12: PV a Z-30 2 | 48 | 24,31 |

Tabla 22: Simulación de tiempos de viaje punta* en la turbo rotonda
Fuente: Elaboración propia

Todos los tramos, resultan mejorados o con resultados similares en el nuevo diseño.

Con respecto al carril 5 del acceso por la Z-40 mencionado anteriormente, siendo mayores sus números de paradas y longitud de cola máxima, se aprecia que los tiempos de trayecto no son proporcionales a los anteriores. Por tanto, habrá una mayor retención en número de vehículos, pero su fluidez será mayor.

Ante el conjunto de tiempos comparados entre ambos diseños para acceder a la intersección por los ramales Z-30, Z-40 y Puerto Venecia, se han obtenido las siguientes mejoras para un tráfico punta:

| ACCESOS | MEJORA |
|----------------|-------------|
| Z-30 | 121% |
| Z-40 | 169% |
| Puerto Venecia | 9% |

Tabla 23: Mejora de tráfico punta* por accesos.
Fuente: Elaboración propia.

C) TRÁFICO A LA SALIDA DE PUERTO VENECIA (ÚLTIMAS HORAS)

- VOLUMEN DE VEHÍCULOS SIMULADOS

Para la simulación de un tráfico elevado a las horas punta de salida del centro comercial Puerto Venecia, se toman los datos de las últimas horas de la tarde donde la mayoría de los vehículos se incorporan desde el acceso de Puerto Venecia y acceden muchos menos desde los accesos de la Z-30 y Z-40.

Se conoce que la franja horaria donde se acumula un mayor volumen de vehículos para salir del centro comercial Puerto Venecia es entre las 20 y 21 horas.

| Nº | LINK | VOLUMEN | VEH COMPOSICION |
|----|---------|---------|-----------------|
| 1 | Z-30 1 | 400 | 1: Default |
| 2 | Z-30 2 | 100 | 1: Default |
| 3 | Z-40 17 | 200 | 1: Default |
| 4 | Z-40 16 | 200 | 1: Default |
| 5 | Z-40 15 | 50 | 1: Default |
| 6 | PV 11 | 650 | 1: Default |
| 7 | PV 10 | 750 | 1: Default |
| 8 | PV 9 | 350 | 1: Default |
| 9 | PV 8 | 300 | 1: Default |

Tabla 24: Volumen de vehículos simulados salida de la rotonda actual.
Fuente: Elaboración propia

| Nº | LINK | VOLUMEN | VEH COMPOSICION |
|----|---------|---------|-----------------|
| 1 | Z-30 1 | 400 | 1: Default |
| 2 | Z-30 2 | 100 | 1: Default |
| 3 | Z-40 17 | 200 | 1: Default |
| 4 | Z-40 16 | 300 | 1: Default |
| 5 | Z-40 15 | 150 | 1: Default |
| 6 | PV 11 | 700 | 1: Default |
| 7 | PV 10 | 750 | 1: Default |
| 8 | PV 9 | 600 | 1: Default |
| 9 | PV 8 | 500 | 1: Default |

Tabla 25: Volumen de vehículos simulados salida de la turbo rotonda.
Fuente: Elaboración propia

• ANÁLISIS DE RESULTADOS

De nuevo, se comparan en las siguientes tablas con la cantidad de paradas realizadas en los distintos carriles debido a la espera en la proximidad de la rotonda y tiempos promedios que necesitan los vehículos en recorrer las rutas preestablecidas:

| INTERVALO DE TIEMPO (seg) | CONTADOR | COLA MÁX (m) | STOPS |
|---------------------------|----------|--------------|-------|
| 20-600 | 1 | 6,90 | 2 |
| 20-600 | 2 | 13,40 | 3 |
| 20-600 | 3 | 97,13 | 37 |
| 20-600 | 4 | 97,08 | 24 |
| 20-600 | 5 | 25,11 | 11 |
| 20-600 | 6 | 0,00 | 0 |
| 20-600 | 7 | 15,95 | 6 |
| 20-600 | 8 | 103,30 | 26 |

Tabla 26: Retenciones en carriles en salida de la rotonda actual

Fuente: Elaboración propia

| INTERVALO DE TIEMPO (seg) | CONTADOR | COLA MÁX (m) | STOPS |
|---------------------------|----------|--------------|-------|
| 20-600 | 1 | 7,10 | 1 |
| 20-600 | 2 | 8,71 | 2 |
| 20-600 | 3 | 7,30 | 1 |
| 20-600 | 4 | 68,28 | 49 |
| 20-600 | 5 | 27,96 | 27 |
| 20-600 | 6 | 0,00 | 0 |
| 20-600 | 7 | 8,57 | 2 |
| 20-600 | 8 | 0,00 | 0 |

Tabla 27: Retenciones en carriles en salida de la turbo rotonda

Fuente: Elaboración propia

A excepción de los contadores 1 y 5, todos los demás presentan mejoras respecto a la longitud de cola máxima en las inmediaciones de la intersección.

Los problemas de retención plasmados en los contadores, pertenecientes a los accesos de la Z-40 y Puerto Venecia, los más problemáticos para esta situación, han desaparecido casi por completo, debido a la fluidez que otorga la turbo rotonda. Siempre existirá, en mayor o menor medida, problemas de retención en los contadores 4 y 5, debido al gran volumen de vehículos que sale de Puerto Venecia, puesto que tiene

ANEXO 3

prioridad frente a la entrada a la rotonda de la Z-40, que se ve afectada por el mayor flujo de movimientos en sentido Puerto Venecia – Z-30.

Los tiempos de recorrido son los siguientes:

| INTERVALO DE TIEMPO (seg) | TRAMO | VEHÍCULOS | TIEMPO DE TRAYECTO (seg) |
|---------------------------|---------------------|-----------|--------------------------|
| 20-600 | 1: Z-30 a PV | 20 | 29,06 |
| 20-600 | 2: Z-30 a PV 2 | 14 | 30,42 |
| 20-600 | 3: Z-30 a PV ext | 57 | 13,38 |
| 20-600 | 4: Z-30 a Z-40 | 4 | 37,17 |
| 20-600 | 5: Z-40 a PV | 11 | 140,20 |
| 20-600 | 6: Z-40 a PV 2 | 12 | 150,76 |
| 20-600 | 7: Z-40 a PV 3 | 8 | 112,41 |
| 20-600 | 8: PV Mc a Z-40 ext | 106 | 17,48 |
| 20-600 | 9: PV Mc A Z-30 | 87 | 49,43 |
| 20-600 | 10: PV A Z-40 | 75 | 18,52 |
| 20-600 | 11: PV A Z-30 | 48 | 28,60 |
| 20-600 | 12: PV A Z-30 2 | 61 | 69,52 |

Tabla 28: Simulación de tiempos de viaje de salida rotonda actual

Fuente: Elaboración propia

| INTERVALO DE TIEMPO (seg) | TRAMO | VEHÍCULOS | TIEMPO DE TRAYECTO (seg) |
|---------------------------|---------------------|-----------|--------------------------|
| 20-600 | 1: Z-30 a PV | 20 | 29,39 |
| 20-600 | 2: Z-30 a PV 2 | 14 | 27,94 |
| 20-600 | 3: Z-30 a PV ext | 57 | 13,50 |
| 20-600 | 4: Z-30 a Z-40 | 4 | 40,05 |
| 20-600 | 5: Z-40 a Z-30 | 3 | 20,52 |
| 20-600 | 6: Z-40 a PV | 36 | 51,35 |
| 20-600 | 7: Z-40 a PV 2 | 23 | 47,87 |
| 20-600 | 8: PV Mc a Z-40 ext | 117 | 17,98 |
| 20-600 | 9: PV Mc a Z-30 | 100 | 39,33 |
| 20-600 | 10: PV a Z-40 | 59 | 18,88 |
| 20-600 | 11: PV a Z-30 | 34 | 27,21 |
| 20-600 | 12: PV a Z-30 2 | 82 | 25,18 |

Tabla 29: Simulación de tiempos de viaje de salida turbo rotonda

Fuente: Elaboración propia

Los tiempos de recorrido para acceder por la Z-30 no se ven afectados por la salida de vehículos.

Sin embargo, los vehículos que accedan por la Z-40 tardarán mucho menos en llegar a su destino, y su espera en el ramal de entrada será menor con el diseño de la turbo rotonda dependiendo del carril donde se sitúe cada vehículo.

Los tiempos de recorrido para acceder a la rotonda por Puerto Venecia se ven mejorados debido a que, en la rotonda actual, los problemas de cruce de carriles dentro de la rotonda, cuando existe un tráfico muy elevado, va produciendo la disminución de la velocidad dentro de la misma y, progresivamente, produce un atasco en la entrada de la intersección.

La diferencia fundamental en esta situación es que, para que sea legal, en la rotonda actual sólo se debería poder abandonar la rotonda desde el carril exterior, no siendo esto un problema en la turbo rotonda, la cual aprovecha los dos carriles que existen en la salida hacia la Z-30.

En la simulación de tráfico que se mostrará en la exposición, veremos como en el momento en que el tráfico comienza a ser denso, los vehículos que acceden por la Z-40 no pueden entrar y que los que acceden por el acceso de Puerto Venecia comienzan a tener problemas dentro de la rotonda, produciendo un embudo.

A continuación se expone una tabla resumen con las mejoras de tráfico resultantes de la implantación de la turbo rotonda para un tráfico característico de las horas de salida los días de mayor densidad de vehículos.

| ACCESOS | MEJORA |
|----------------|-------------|
| Z-30 | -1% |
| Z-40 | 237% |
| Puerto Venecia | 50% |

Tabla 30: Mejora de tráfico en horario de salida por accesos.
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 4

JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

4.1 ÁREA DE INFLUENCIA

El emplazamiento donde se va a realizar la actuación corresponde a la rotonda existente de acceso al centro comercial Puerto Venecia y a sus alrededores, con una serie de modificaciones puntuales.

4.2 TIPO DE PROGRAMA O PROYECTO

La actuación trata de ser una modificación de la geometría existente en la rotonda de acceso, para convertirla en una turbo rotonda.

Éste es un estudio para la conversión de una rotonda existente en una turbo rotonda, luego se definen los conceptos básicos para poder llevarla a cabo si la mejora de tráfico está justificada para la inversión a realizar en este proyecto.

4.3 INVERSIÓN TOTAL DEL PROGRAMA O PROYECTO

La inversión para realizar la turbo rotonda corresponde a la cantidad total de **49,164.82 €** los cuales corresponden a una actuación pública, con interés privado, por lo tanto los costes del proyecto deberían corresponder o bien al Ayuntamiento de Zaragoza, o a la Junta de Compensación de Puerto Venecia.

4.4 PRINCIPALES COMPONENTES

| CONCEPTO | CANTIDAD |
|---------------------------------|--|
| DEMOLICIÓN ASFALTO | 555m ² |
| ACERAS Y PAVIMENTOS | 224m de bordillo-rigola |
| ELEMENTOS INTERIORES DE ROTONDA | 157 separadores viales |
| SEÑALIZACIÓN | 3 carteles urbanos 71,42 m ² de pintura vial |
| JARDINERÍA | 555m ² |

Tabla 31: Principales componentes
Fuente: Elaboración propia

4.5 SITUACIÓN ACTUAL (PROBLEMÁTICA)

El principal problema son las largas retenciones como consecuencia de la desembocadura común de los flujos de tráfico de entrada y salida de Puerto Venecia. Es necesaria una actuación que mejore la situación en los periodos de horas punta.

- Gravedad de la situación
- a) Temporalidad: Desde la inauguración del centro comercial el problema no se ha solucionado, y según se comprobó en el estudio de tráfico, el número de vehículos es mayor cada año, así como la previsión para años futuros.
- b) Relevancia: En el año 2004 se realizaron informes técnicos desde el Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza donde se planteaba la posibilidad de proyectar 2 entradas a las inmediaciones del centro comercial Puerto Venecia, debido a la masiva atracción que tendría, así como otros fines como el futuro barrio Parque Venecia u otro enlace con la Z-30. Por lo tanto, los problemas de tráfico no es una circunstancia fortuita.
- c) Grado de avance: los problemas afectan directamente a aquellas personas cuyo propósito es acceder y salir de Puerto Venecia, aunque también a los vecinos del barrio Parque Venecia, debido a que las entradas y salidas son la Z-30 y Z-40 por la Avenida de la Policía Local o por la Avenida de Puerto Venecia. Indirectamente, tanto la Z-30 como la Z-40 sufren la paralización de su carril derecho, sobre todo en la Z-40, que teniendo 2 carriles, se llega a colapsar los carriles de deceleración, ocasionando que hayan vehículos parados en el carril derecho de esta autovía.

4.6 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Se pretende realizar próximamente un nuevo acceso al centro comercial Puerto Venecia por la Z-40, de manera que descongestione dicha autovía, y así, atraer más visitantes por este acceso que debería permitir una mayor comodidad y rapidez de entrada y salida en las horas punta.

Sin embargo la realización de un nuevo acceso desde la autovía, se estima que puede ejecutarse con un presupuesto aproximado de **2,3 millones de euros**.

4.7 RAZONES POR LAS QUE SE ELIGIÓ LA SOLUCIÓN MÁS VIABLE TÉCNICA Y ECONÓMICAMENTE

La razón principal de que se haya planteado esta solución en vez de dotar al centro comercial de un nuevo acceso se basa en la diferencia de cuantía económica que diferencia a ambas soluciones.

Además, la implantación de la turbo rotonda mejoraría la situación actual de seguridad en la rotonda, por la que tantos vehículos circulan diariamente.

El plazo de ejecución de la turbo rotonda sería de 2-3 días, mientras que el nuevo acceso llevaría varias semanas, con los posibles perjuicios de tráfico que pudiera ocasionar.

El nuevo acceso es un itinerario muy largo y poco intuitivo, tiene la necesidad de gestión en caso de tráfico punta y no puede solucionar completamente el problema de las colas en el ramal de acceso de la Z-40.

En cuanto al éxito que pudieran tener ambas alternativas para la mejora del tráfico, están basadas en simulaciones de tráfico, ayudando a reducir la congestión actual por parte de la turbo rotonda, para un mismo esquema, y redistribuyéndolo y generando otros posibles comportamientos de los conductores por parte de la alternativa del nuevo acceso a Puerto Venecia.

4.8 BENEFICIOS

- Grandes mejoras del tráfico actual.
- Mejora de la seguridad vial en 21 puntos de conflicto menos con la transformación a turbo rotonda.
- Mejora en el acceso de los vecinos de Parque Venecia que se veían envueltos en el tráfico en los días de mayor afluencia.
- Mejora del medio ambiente, debido a que se reducirán las retenciones, mejorando la calidad el aire del barrio Parque Venecia y de la zona verde "Pinares de Venecia".

4.9 MEDICIONES Y PRESUPUESTO

A continuación se muestran las mediciones e importes totales de las actuaciones que se pretenden llevar a cabo en la adecuación de la rotonda existente.

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

| CÓDIGO | RESUMEN | UDS | LONGITUD | ANCHURA | ALTURA | CANTIDAD | PRECIO | IMPORTE |
|------------|---|-----|----------|---------|--------|----------|--------|------------------|
| 1 | DEMOLICIONES | | | | | | | |
| mU01BP010 | m2 DEMOL.M.M.PAV.ASFÁLT E<12 cm | | | | | | | |
| | Levantado por medios mecánicos (retroexcavadora con martillo hidráulico o similar) de pavimento de aglomerado asfáltico en capas de rodadura e intermedia de espesor menor o igual a doce centímetros, incluso retirada y carga de productos, incluso transporte y canon a vertedero. | | | | | | | |
| | ANILLO CENTRAL | 1 | 488.00 | | | 488.00 | | |
| | LADO GASOLINERA | 1 | 67.00 | | | 67.00 | | |
| | 555.00 | | | | | | 15.82 | 8,780.10 |
| | TOTAL 1 | | | | | | | 8,780.10 |
| 2 | ACERAS Y PAVIMENTOS | | | | | | | |
| mU06A125P | m BORD-RIGOLA TIPO V COL. MECANICA | | | | | | | |
| | Suministro y colocación con medios mecánicos de bordillo-rigola prefabricado de hormigón, en recta o curva, tipo V de las normas municipales, de 30 x 16 cm, incluso mortero de asiento y rejuntado, con hormigón de solera, sin incluir excavación. | | | | | | | |
| | ANILLO CENTRAL | 1 | 192.00 | | | 192.00 | | |
| | LADO GASOLINERA | 1 | 32.00 | | | 32.00 | | |
| | 224.00 | | | | | | 12.22 | 2,737.28 |
| | TOTAL 2 | | | | | | | 2,737.28 |
| 3 | ELEMENTOS INTERIORES DE ROTONDA | | | | | | | |
| SV001 | m SEPARADOR VIAL CON REFLECTORES CAPTADIÓPTICOS | | | | | | | |
| | Instalación de separadores viales con reflectores captadiópticos entre carriles, incluso montaje. | | | | | | | |
| | Subcontrata instalación separadores viales | 1 | | 157.14 | | 157.14 | | |
| | 157.14 | | | | | | 70.49 | 11,076.80 |
| | TOTAL 3 | | | | | | | 11,076.80 |
| 4 | SEÑALIZACIÓN | | | | | | | |
| 2.1 | SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL | | | | | | | |
| mU15AH260 | m2 BORRADO DE MARCA VIAL | | | | | | | |
| | Borrado de marca vial. | | | | | | | |
| | Marcas rotonda | 62 | 2.00 | 0.20 | | 24.80 | | |
| | Flecha recto | 12 | 1.20 | | | 14.40 | | |
| | Flecha recto-derecha | 6 | 1.50 | | | 9.00 | | |
| | 48.20 | | | | | | 12.74 | 614.07 |
| mU15AH230 | m2 SÍMBOLOS PINTURA CONVENCIONAL | | | | | | | |
| | Estarcido en símbolos, flechas, palabras, pasos de peatones, pasos de cebra, marcas transversales de detención, etc., realmente pintado con pintura convencional, incluso premarcaje. | | | | | | | |
| | Flecha recto turbo rotonda | 3 | | 2.25 | | 6.75 | | |
| | Flecha recto-izquierda turbo rotonda | 11 | | 3.21 | | 35.31 | | |
| | Flecha recto-derecha turbo rotonda | 8 | | 3.17 | | 25.36 | | |
| | Marcas continuas entre carriles | 1 | | 20.00 | 0.20 | 4.00 | | |
| | 71.42 | | | | | | 10.93 | 780.62 |
| | TOTAL 2.1 | | | | | | | 1,394.69 |

ANEXO 4

| CÓDIGO | RESUMEN | UDS | LONGITUD | ANCHURA | ALTURA | CANTIDAD | PRECIO | IMPORTE |
|------------|--|-----|----------|---------|--------|----------|--------|------------------|
| 2.2 | SEÑALIZACIÓN VERTICAL | | | | | | | |
| TSV040 | m2 Cartel de señalización vertical de tráfico de laminas de acero galvanizado, con retroreflectancia nivel 1 (E.G.). | | | | | | | |
| | Suministro y colocación sobre poste báculo (sin incluir éste) de un módulo informativo según N.E.C. reflectante nivel 2 de 200 x 40 cm incluso piezas de anclaje y tornillería inoxidable. | | | | | | | |
| | | 3 | 1.50 | 1.50 | | 6.75 | | |
| | | | | | | | 76.57 | 516.85 |
| | TOTAL 2.2 | | | | | | | 516.85 |
| | TOTAL 4 | | | | | | | 1,911.54 |
| 5 | JARDINERÍA | | | | | | | |
| mU14K010 | m2 CÉSPED SEMILLADO SUPERFICIE < 1.000 M2 | | | | | | | |
| | Césped semillado, incluido laboreo terreno, rastrillado para rasantear el terreno, semillado (mezcla semillas según dirección facultativa), cubrición, paso de rulo y primeros riegos, para una superficie inferior a 1.000 m2 | | | | | | | |
| | ANILLO CENTRAL | 1 | | 488.00 | | 488.00 | | |
| | LADO GASOLINERA | 1 | | 67.00 | | 67.00 | | |
| | | | | | | | 3.17 | 1,759.35 |
| | TOTAL 5 | | | | | | | 1,759.35 |
| | TOTAL | | | | | | | 26,265.07 |

RESUMEN DE PRESUPUESTO

| CAPÍTULO | RESUMEN | IMPORTE |
|-----------------|---------------------------------------|----------------|
| 1 | DEMOLICIONES..... | 8,780.10 |
| 2 | ACERAS Y PAVIMENTOS..... | 2,737.28 |
| 3 | ELEMENTOS INTERIORES DE ROTONDA | 11,076.80 |
| 4 | SEÑALIZACIÓN..... | 1,911.54 |
| 5 | JARDINERÍA | 1,759.35 |

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL 26,265.07

13.00 % Gastos generales 3,414.46

6.00 % Beneficio industrial 1,575.90

Suma 4,990.36

PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN SIN IVA 31,255.43

21% IVA 6,563.64

PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN 37,819.07

Asciende el presupuesto a la expresada cantidad de TREINTA Y SIETE MIL OCHOCIENTOS DIECINUEVE EUROS con SIETE CÉNTIMOS

ZARAGOZA, Diciembre 2015.

El Ingeniero civil

Fdo.: Rodrigo Muñoz Barbero